

課題名 E-1001 アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究

課題代表者名 内山 洋司（国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授）

研究実施期間 平成22～24年度

累計予算額 99,731千円（うち24年度27,969千円）  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード（5～10個） CO<sub>2</sub>排出抑制、CO<sub>2</sub>クレジット、クリーン開発メカニズム（CDM）、コベネフィット効果、GIS分析、支払意思額（WTP）、便益移転（以下程度）

## 研究体制

- (1) エネルギーチェーンLCAモデルおよび地理情報システムによるアジア主要地域における各技術オプションの検討（筑波大学）
- (2) 緩和技術に関わる社会的認識についての調査・分析（（独）産業技術総合研究所）
- (3) 新オフセット・メカニズムにおける緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価（（独）産業技術総合研究所）
- (4) アジア地域におけるコベネフィットを考慮した緩和技術の導入分析（（独）産業技術総合研究所）

## 研究概要

### 1. はじめに（研究背景等）

これまで地球環境研究総合推進費「B-074 アジア地域における緩和技術の統一的な評価手法の開発に関する研究」(FY2007-FY2009)において、日本の温暖化政策に必要なエネルギー供給技術の選択のみならず、日本にとって今後益々重要になるアジア地域における温室効果ガス削減を目標とし、化石燃料、原子力、再生可能エネルギーをエネルギー源とした各種供給技術を定量的に分析する統一的な評価手法の開発を行ってきた。日本は経済発展が著しい中国やインドなどの新興国、それに他のアジア諸国との連携を強化していくことが求められている。本研究によって得られる成果は、温室効果ガスが多量に排出されつつあるアジア諸国における地球温暖化対策の政策支援だけでなく、大気汚染など周辺地域の環境問題解決にも役立つものである。日本と他のアジア諸国との協力関係を環境面から深めていくためにも、本研究を実施していく意義は大きい。

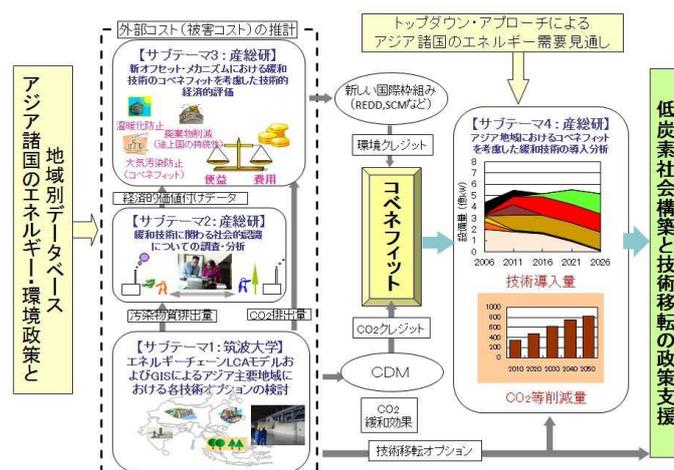


図1 研究概要およびサブテーマの構成

### 2. 研究開発目的

本研究は、現行のクリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）を想定して先行研究で開発した「アジア地域における緩和技術の統一的な評価手法」を、新しいクレジット・メカニズムに対応させた経済的価値付け手法であるコベネフィット分析に発展していくもので、重点的に公募する行政ニーズとして挙げられて

いる『気候変動対策のための2013年以降の国際枠組みに基づく国内・国際対策の推進に関する研究』に取り組むことを目的としている。2013年以降の新しい国際枠組みで実施される可能性がある新メカニズムを視野に入れて、さまざまな技術オプションについてコベネフィットと時間的な展開の両面から分析・評価した結果を提示する。アジア低炭素社会の構築に向けた、2013年以降の国際対策の意思決定に求められる成果を提供する。

### 3. 研究開発の方法

#### (1) エネルギーチェーンLCAモデルおよび地理情報システムによるアジア主要地域における各技術オプションの検討

2030年頃の中国、インドなどアジア地域の数地点におけるCDMプロジェクトを想定し、技術オプション毎に地域レベルで推定されたCO<sub>2</sub>、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等のライフサイクル排出削減量と各種技術の導入ポテンシャルを明らかにすることを目的として実施した。エネルギーチェーンの技術オプション評価として、先進石炭火力導入における石炭輸送の地域別環境負荷分析、再生可能エネルギーポテンシャルの推計では太陽光発電について地域導入ポテンシャル評価、バイオマス技術導入、先進石炭火力導入の外部性評価を実施した。また、北京(中国)、太原(中国)、大連(中国)、デリー(インド)、アルマティ(カザフスタン)において現地ヒアリングを行った。

発電技術の立地特性に大きく影響を与える石炭輸送について詳細な検討を行った。中国全土を対象として石炭産出の分布と発電向けの石炭需要分布を作成し輸送経路および輸送費用の最適化を行った。中国の各行政区を対象に統計データから作成した434か所の石炭供給地、228か所の需要地データより、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いて火力発電向けの石炭供給地分布を作成した。需要量はエネルギーバランス表の火力発電向け省級別石炭総需要量を発電所の年間発電電力量に応じて按分することで求めた。石炭輸送は鉄道輸送、トラックによる道路輸送、船舶による沿岸輸送を想定し、GISを用いて輸送ネットワークを構築した。各ルートにおける石炭輸送フローの最適化計算は線形計画法により行った。最適化計算により中国全土の総輸送費用または総CO<sub>2</sub>排出量が最小となるような各ルートの輸送量を求めた。既存火力発電における石炭需要量に加え、既存火力発電の全てを先進石炭火力発電の超々臨界石炭火力発電(USC: Ultra Super Critical)で代替した場合における石炭輸送最適化についても検討を進めた。

先進火力発電技術導入に伴う外部性評価は、中国の石炭主要産地である山西省の省都太原市と運城市を評価対象地域としたケーススタディを行った。排出源の設定として、太原市・運城市に実在する主要な石炭火力発電所をモデルとして、実在の発電所の位置と設備容量のデータを基に、太原市・運城市にそれぞれ2ヶ所の発電所を設定した。風況分析にはSYNOF(地球実況気象通報式)によって得られた観測データを用いた。一日ごとの観測データ一年分から年間平均風況を算出した。拡散シミュレーションを含めた全ての分析をGIS上で行い評価を進めた。暴露量シミュレーションでは、両市の2ヶ所の発電所に対して、脱硫の有無について2つのシナリオで評価を行った。

地域バイオマス発電の輸送費用最小化による導入評価は農産系のバイオマスである稲、麦、トウモロコシの生産によって発生する残渣を対象とした。対象地域は、中国における各電力グリッドから広東省、湖南省、山西省、遼寧省、長江下流域3省(上海市、江蘇省、安徽省)とした。また、特に農産バイオマスの賦存量が多い地域として、河南省、および山東省を対象に分析を行った。輸送距離を正確に計算するために、道路網データをGISに取り入れて推計し、輸送費用最小化を、施設配置問題であるpメディアン問題を適用して推計した。

地域性を考慮して中国の主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価を遼寧省および広東省を対象として行った。まずGIS日射量データを用いて中国全土における日射量分布を分析した。沿岸部において高い日射量があり、さらにCO<sub>2</sub>排出原単位が中国で最も高い東北区域電力網に属する遼寧省の都市域を評価対象地域とした。比較として広東省も対象とした。GISを用い、集中型太陽光発電システムの導入制約条件を考慮して、遼寧省の都市域においてそれを満たす導入可能面積および導入可能設備容量の算出を行った。また、システムを導入した場合の発電量、CO<sub>2</sub>排出削減量をそれぞれ算出した。導入制約条件を人口密度、傾斜勾配、草地・未利用地を考慮して設定しその条件を満たす土地を導入可能地として、その面積を導入可能面積として算出した。

#### (2) 緩和技術に関わる社会的認識についての調査・分析

環境価値の経済評価として、LCAで用いられている日本版被害算定型影響評価手法(LIME)では、人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産の4つの保護対象を評価対象としているが、本サブテーマでは一般の人が最も価値評価をしていると考えられる人間健康を対象とした。その中で、CDMによる環境負荷の変化を評価対象として想定しているため、火力発電システムのリプレースにより大気汚染物質排出量の削減を考慮し、大気汚染による健康被害を想定シナリオとした。評価方法としては、仮想評価法(CVM)により支払意志額(WTP)を推定する方法を選択し、CDMプロジェクトによる認証排出削減量(CER: Certified Emission Reductions)の最大の発生国

である中華人民共和国での社会調査を実施した。広大な国土を有する中国は地域により多様性に富んでいると想定されるが、北京、山西省農村部、山西省都市部の各地域を各年度に1地域ずつ調査地域とした。

調査方法として訪問面接法を用い、特定の集団ではなく、対象地区に居住する一般の人を対象とした。このため、調査地点において多段サンプリング法により回答者の抽出をし、回答候補者の住居を直接訪問して依頼を行う方法をとった。サンプリングは、地点の決定、世帯抽出、個人抽出の段階を経て行った。調査は、調査員が回答者の住居に出向き、調査票を読み上げる形で質問を行い、回答者による口頭による回答を調査員が記録する方法により実施した。大部分の設問は、選択肢を提示し、これを選ぶ形式となっている。選択肢は、調査員が読み上げる他にショーカードの形で回答者に提示している。調査票は、大気汚染による健康被害の経済価値評価を行うための設問を中心として構成した。調査の主目的である健康リスク低減に係わる質問を中心に配置し、その前後に関連する質問を配した。健康リスク低減に関する質問は、大気汚染により健康を害する被害を回避するためのWTPを仮想評価法により尋ねた。限られた質問時間で回答を得るために意味が分かり易い、死亡率を評価対象とし、金銭的負担を表現するために公共財的性格を持つ大気汚染軽減を直接尋ねることは避け、大気汚染の影響を緩和するために吸入器を購入する意志があるかを尋ねる方法を用いた。回答は、購入の意志の有無の二肢選択を複数回回答する形式とした。また、平成24年度の調査では、再生可能エネルギーシステムを対象に受容性を考察するために、各技術への認識についての設問を設けた。

調査は、少数のサンプルにより予備調査実施後に質問票を修正確定し、平成22年度は北京で700サンプル、平成23年度の山西省農村部で600サンプルを実施した。平成24年度の山西省都市部での調査では、前年度から最小限の修正を行った調査票で250サンプル、予備調査による調査票修正後に300件の調査を実施した。

### (3) 新オフセット・メカニズムにおける緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価

コベネフィットを考慮した温暖化緩和策の検討が必要とされながら、アジア広域において環境影響の経済評価を可能とするような環境影響評価手法は見当たらない。そこで、1つの方策として、日本版被害算定型影響評価手法(LIME)をアジア広域に適用可能に修正するというアプローチを進めた。日本の被害係数・経済評価係数をそのままアジア地域に適用することは必ずしも適切ではない。そのため、日本の現状を対象としたLIMEの被害係数・経済評価係数を、アジアの将来時点に適用可能とするために、修正を行う必要がある。サブテーマ(3)では、中国を特に重点的に深耕するサブテーマ(1)およびサブテーマ(2)との連携を意識しつつ、サブテーマ(4)(アジアGOALモデル)の対象地域(日本、中国、東南アジア、インド)と対象期間(~2030年)に対応可能とすることを目指した。それにより、統計学的な精緻さを志向するサブテーマ(2)との補完関係をはかった。本サブテーマでは、LIMEの統合化に用いる限界支払い意思額をアジア広域において推定するための社会調査を複数地点で実施するとともに、アジア広域に展開可能な便益移転関数の作成を試みることを目標とした。平成22年度は社会調査方法を中心に検討し、予備的な社会調査を実施することで、社会調査方法をほぼ確定することができた。平成23年度は調査票の検討を中心に実施し、実際に複数都市における社会調査に複数の調査票を使用し、限界支払い意思額のデータ取得を試行した。平成24年度は、過去2年度の試行を踏まえて調査票を1種類に絞り、調査対象国数の拡大と、調査既実施国における調査都市数の補強を図るため、調査地点を6都市(マニラ、デリー、重慶、北京、太原、クアラルンプール)とした。インターネット調査とし、男女同比率、20代~40代の各地点110程度のサンプル数として社会調査を実施した。

### (4) アジア地域におけるコベネフィットを考慮した緩和技術の導入分析

平成22年度~平成23年度には、コベネフィットを考慮したクレジット・メカニズムによる導入分析のツールとして最適電源計画モデルを開発した。最適電源計画モデルを用いることにより、ホスト国のエネルギー環境政策を考慮したベースラインと、先進技術導入による環境負荷低減効果を定量的に評価することが可能になる。とくにCDMでは、プロジェクトが実施される電力グリッド単位でベースラインを設定することを考慮して、中国とインドの主要な電力グリッドを構成単位とする多電力グリッド最適電源計画モデルを開発した。技術の特性や導入ポテンシャル等については、サブテーマ(1)との連携および文献調査によってデータを設定した。平成23年度には、インドをホスト国とする先進火力発電CDMおよび中国をホスト国とする二酸化炭素回収型発電CDMのケーススタディを試行した。大気汚染物質(SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん)排出削減によるコベネフィットとして文献値を使用した。

平成24年度には、中国およびインドを想定ホスト国として、超々臨界(USC)石炭火力発電、石炭ガス化複合サイクル(IGCC)発電、天然ガス複合サイクル(CC)発電、二酸化炭素回収型(CCS)火力発電等の先進的火力発電技術と、風力発電、太陽光発電、バイオマス発電などの再生可能エネルギー発電および原子力発電を事例とするケーススタディを実施した。既存火力の性能とコストは、グリッド毎に地域差を考慮し、燃料輸送については石炭価格をグリッド毎に変えて実際に近い形での分析を実施した。大気汚染物質排出削減量1kg当たりのコベネフィットの値は、サブテーマ(2)(3)の研究成果に基づいて設定した。ベースラインの分析には、2012年1月から適

用される中国の新排出規制の施行や、2012年に開始したインドにおける再生可能エネルギー発電固定価格買い取り制度の導入などを織り込んだ。中国のCO<sub>2</sub>排出については、2020年にGDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量を2005年比で半減するという目標に沿った排出制約を課し、インドのCO<sub>2</sub>排出については、インド政府の計画(国家電力計画2012)が想定する、2021年の全電源平均kWh当たりCO<sub>2</sub>排出量を2006年比で約2割低減、という目標に沿った排出制約を課した。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) エネルギーチェーンLCAモデルおよび地理情報システムによるアジア主要地域における各技術オプションの検討

地域毎に異なる石炭需要量や利用可能な輸送方法、石炭供給地からの距離により、石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量に大きな地域差がみられた。石炭生産量は華北地方が他の地域に比べて最も多く、石炭消費量としては華東地方が最も多い。自地域を除く地域間移出入では、華北地域から華東地方への移出入量が最も大きい。輸送コスト最小化による輸送最適化において、各消費地における石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量は、沿岸地域である上海、江蘇省、浙江省、福建省および広東省の排出量が大きく、特に浙江省と広東省は沿岸輸送からの排出量が総排出量を大きく押し上げる結果となった。また輸送手段別では道路輸送からの排出量が大きく、すべての地域で一定の割合を占めている。CO<sub>2</sub>最小化ではコスト最小化で選択されていた沿岸輸送が選択されない。これは沿岸輸送のCO<sub>2</sub>排出原単位が鉄道輸送よりも高く、輸送ルートにおいて鉄道輸送が沿岸輸送を代替できることに起因する。コスト最小化とCO<sub>2</sub>最小化の輸送CO<sub>2</sub>排出量を比較すると、南部沿岸地域で沿岸輸送分が他の輸送手段に振り分けられたことでCO<sub>2</sub>排出量が減少している。しかし江蘇省、山東省などの上海市より北に位置する沿岸地域では、これまで南部沿岸地域が北部の石炭を沿岸輸送で輸送していたことにより直接的には南部沿岸地域との石炭の競争的関係になかったが、沿岸輸送が選択されなくなったことで周辺地域の石炭を奪い合う関係になったため、南部沿岸地域と同水準までCO<sub>2</sub>排出量が高くなる結果が得られた。

既存火力発電所を先進火力発電技術である超々臨界(USC)石炭火力発電で代替すると、発電向けの石炭需要が136,474万tから114,014万tに16.5%減少させるポテンシャルがある。特に既存火力発電所の効率が他地域に比べて低い地域では大幅な需要減少が見込まれる。先進火力導入前後における石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出は、先進火力導入で石炭需要が16.5%減少することにより、石炭の輸送量が減少し、かつ石炭がより近い産地から輸送できるため輸送距離も減少する。その結果CO<sub>2</sub>排出量が導入前後で41.7%減少することが明示された。先進火力導入によるCO<sub>2</sub>削減は発電効率の高さに起因する石炭消費量減少による削減のみならず、石炭輸送からの削減効果加わる。発電所運用におけるCO<sub>2</sub>削減量が大きな割合を占める一方で、石炭輸送からのCO<sub>2</sub>削減量は運用における削減量に対して17.4%となり、無視できない削減量となる。これらの評価結果は、サブテーマ(4)とリンクしており、分析の入力データとして使われている。

都市域を対象とした先進火力発電技術の導入評価結果の一例として、外部性評価人口分布を考慮に入れた太原市におけるSO<sub>x</sub>曝露量のシミュレーション結果について述べる。脱硫なしケースでの曝露量評価結果である。最大値は295.2人mg/m<sup>3</sup>であり、全セルでの平均曝露量は2793.7人・μg/m<sup>3</sup>となった。発電所1および発電所2は実在の発電所の位置および規模に基づいており、発電所1は郊外立地の設備容量1200MWの大規模発電所、発電所2は都市部立地の設備容量400MWの中小規模の発電所である。発電所1と比較して、設備容量は小さいが人口密集地に近い発電所2から排出されるSO<sub>x</sub>が、近傍のセルに対して大きな影響を与えている。脱硫ケースでの曝露量評価結果最大値は172.2人・mg/m<sup>3</sup>であり、脱硫なしのケースと比較して、約4割減少している。運城市における曝露量評価結果は、脱硫ケースでは最大値は77.2人・mg/m<sup>3</sup>であり、脱硫によって約7割の削減効果が得られている。運城市は太原市に比べ大規模な人口密集地が存在せず、小さな人口密集地が点在している。また、太原市に比べ2ヶ所の発電所が人口密集地から遠いため、脱硫の効果が大きくなったと考えられる。このシミュレーション結果を用いて、脱硫装置導入における被害想定額の削減値について検討したところ、太原市における半径5km近傍においては発電所1で3.2億元、発電所2で6.9億元の削減額が得られた。さらに、範囲を、半径10km近傍に拡大した場合では、発電所1に高度脱硫を導入した効果の方が発電所2に導入した場合の約1.7倍となり、発電所1における脱硫効果が発電所2の被害削減想定額を上回る結果となった。これら削減額の評価結果はサブテーマ(2)とリンクしており、(2)での分析に使われている。

地域バイオマス発電の輸送費用最小化による導入評価結果の一例として、農産バイオマス資源量の評価結果について述べる。麦やトウモロコシの残渣が多く賦存する河南省、山東省では、バイオマスによる発電量の省内電力消費量に対する割合がそれぞれ23.0%、15.2%になり、バイオマス資源による発電ポテンシャルが非常に高かった。設備設置地点数が最も多かった長江下流域に着目すると、地域内の北部に多くバイオマスが賦存しており、北部の設備設置地点に大規模な発電事業を行うために十分な資源量が配分されていることが明らかとなった。資源量のばらつきを示す標準偏差と、費用最小な場合の設備立地地点数を比較した結果、資源量のばら

つきと設備設置地点数には負の相関が見られた。資源分布のばらつきが大きい場合、最適値以上に設備地点を増加させる事は、重み付きの総輸送距離は減少するものの、減少分はばらつきが少ない場合に比べて少なくなる。そのため、資源分布のばらつきが少ない場合は、より小規模、分散した処理形態が望ましく、反対に資源分布のばらつきが多い場合は、より大規模、かつ集中した処理形態が望ましいと考えられる。これらの評価結果は、サブテーマ(4)とリンクし分析に使われている。

都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価結果の一例として、東北部の遼寧省および南部の広東省における評価結果について述べる。遼寧省朝陽市、瀋陽市、電力消費量が比較的大きい錦州市においては導入可能設備容量も多いため、太陽光発電の最大発電量が大きく、結果として最大CO<sub>2</sub>排出削減量の値も大きくなった。また電力消費量の多い地級市より少ない地級市の方が、最大発電量が比較的高まる傾向にあることが分かった。遼寧省と広東省での最大CO<sub>2</sub>削減量の差の要因分析を行った結果、太陽光発電導入設備可能容量の差の要因が65%、日射量・外気温要因が14.2%、地域CO<sub>2</sub>削減原単位の差の要因が20.8%を占めることが明らかになり、導入設備可能容量の差が最も大きく寄与していることが示された。日射量・外気温の差よりCO<sub>2</sub>削減原単位の差の方が大きく寄与していることから、日射量が低い地域であっても、CO<sub>2</sub>削減原単位が大きければ、太陽光発電システムの導入により大きなCO<sub>2</sub>排出削減が見込まれる。これらの評価結果はサブテーマ(4)とリンクして分析に使われた。

## (2) 緩和技術に関わる社会的認識についての調査・分析

調査で得られたデータについては、最初に回答者の属性の確認を行った。年齢、性別はサンプリング時に各層の数を確保しているため男女がほぼ同数、年齢は10歳刻みで20歳代から50歳代まではほぼ等しい人数、山西省調査のみで対象とした60歳代は他の年齢階層に比べ約半数のサンプル数となっている。世帯所得については調査地域により分布が大きく異なっていた。北京市では、一番多く選ばれた選択肢は年収6万円～8万円であった。一方、山西省農村部での調査においては、一番多く選ばれていた選択肢は5千元～2万元であり、北京に比べて二～三分の一の収入であった。山西省都市部の分布は、北京と山西省農村部の中間に位置していた。最終学歴については、北京では、高等学校卒相当と大学卒相当の回答者が、それぞれ半数程度であった。山西省農村部では、半数強の回答者が中学校卒相当の学歴であるものの、高等学校卒相当、大学卒相当の回答者もある程度の比率を占めていた。山西省都市部は、所得だけでなく学歴においても、山西省都市部が北京と山西省農村部の中間的な位置にあった。

シナリオ及び吸入器購入コストを提示して得られた回答から、10年後の生存率増加シナリオに対する支払意志額がロジスティック分布に従っているとしてモデルを最尤法で当てはめパラメータを推定した。質問では、寿命10年間の吸入器への購入意志を尋ねており、それは10年間にわたり死亡率が0.5パーミル減少することに対するWTPに相当する。北京の調査データから推定された説明変数を含まないモデルでのWTPの中央値は、1,300円程度で、日本円に直すと15～16万円となる。世帯所得を説明変数に導入すると、所得が高い世帯に属する回答者は支払意志がより強いという傾向が検出された。一方、山西省農村部のデータからは、WTPの中央値は北京より小さいと推定されたが所得の差ほどはWTPの差は大きくはなかった。また、所得によるWTPの差については中間層までは所得が増加するに従いWTPが大きくなる傾向が見られた。学歴については、北京においては大学卒相当のひとは高等学校卒相当のひよりWTPが大きい傾向が見られたが、山西省農村部については若干傾向が異なった。生活習慣については、喫煙の影響は小さいが、運動習慣が無いとWTPが低い傾向があった。山西省都市部については、調査に対する回答としては支払意志が非常に弱いという結果になったが、提示額が高いと支払意志が弱くなる傾向は保たれていた。

平成24年度に調査した、技術の認識受容性についての分析のため、再生可能エネルギーである風力発電、太陽光発電、バイオマスエネルギーについての認識について質問した。各エネルギーシステムについて、少しでも知っているか否かを質問し、少しでも知っていると答えた回答者に技術毎の認識について質問を行った。風力発電、太陽光発電については、知っているという回答が7割程度で、太陽光発電の方が若干知っているとしている回答者が多かった。一方、バイオマスエネルギーについては知っているひとは2割以下であった。各技術に対しては、比較して好意的であり、また技術の種別による評価の差異は比較的小さいという結果が得られた。

## (3) 新オフセット・メカニズムにおける緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価

平均年齢は32.9～34.8歳、有配偶率67.6～93.2%、有職率59.3～96.0%の範囲にあった。また大卒以上の割合が8割を下回る都市は3都市のみであり、ほとんどの都市はそれを超えていた。職業別では、会社勤務(会社役員、管理職、会社員、パート)が2都市を除き約6～8割であり、残りは公務員等(公務員、教職、医者・弁護士等の専門職)と、その他(学生、主婦、退職者、無職)であった。一部の都市ではp値が10%を超える、統計的な有意性にやや劣る属性も見られたが、多くの都市の属性では統計的有意性が概ね良好であったことがわかった。

た。

平成22-24年度において取得した社会調査データを用い、限界支払い意思額を被説明変数とし、回答者や調査都市の属性や調査方法などを説明変数とする関数形構築を、ステップワイズ法による重回帰分析により試行し、関数形から得られる推計値と実測値との比較を行った。その結果、石炭使用量や自然保護区割合等が有効な説明変数であることが判った。また、推計値と実測値の差分の絶対値を実測値で除した誤差率は、全調査都市4属性のうち9割程度が50%を下回る結果となった。また、得られた限界支払い意思額をサブテーマ(4)に適用方法を検討し、他のサブテーマにおけるコベネフィットの推定を可能とした。

#### (4) アジア地域におけるコベネフィットを考慮した緩和技術の導入分析

中国とインドをCDM事業のホスト国として想定したケーススタディから得られた結果を整理する。まず、ベースラインに関しては、中国では2040年頃でも石炭火力が発電量の7割以上を占めるが、2012年以降は脱硫脱硝を備えた超々臨界石炭火力の導入が急速に進む。インドでは、2030年頃でも石炭火力がもっとも大きな発電量シェアを有するが、効率の低い亜臨界石炭火力の割合が大きい。石炭ガス化複合サイクル発電、二酸化炭素回収型発電は経済的に不利で導入されなかった。天然ガス複合サイクル発電は、輸入ガスを燃料とする限り中国では経済的に導入があまり進展せず、インドでは導入が進むものの供給安定性に制約される。また、新排出規制により新設プラント、既設プラント双方に厳しい排出規制が課される中国では、2016年以降火力平均のkWhあたりSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>排出係数が非常に小さくなるのに対して、ばいじんに対する排出規制のみのインドでは、2016年以降も火力平均のkWhあたりSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>排出係数が大きい。中国、インド共に再生可能エネルギー発電に対する固定価格買い取り制度が導入されているが、再生可能エネルギー発電に対する導入促進効果は、インドの方が安価な石炭を利用できる中国よりも強く見られた。

以上の結果から、電源の多様化はインドの方が進む。また、コベネフィットについては、発電部門ではばいじんの排出に対する対策が進んでいるため、大気汚染物質排出削減のコベネフィットは主にSO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>の排出削減から生じる。したがって、CDMの対象技術には優れた低SO<sub>x</sub>、低NO<sub>x</sub>性能が求められることが分かった。CDMにおいて大気汚染物質排出削減のコベネフィット効果を考慮することにより、ほとんどのケースにおいて、CDMの導入規模が拡大することが示された。ただし例外的に、中国のようにホスト国の火力発電に厳しいSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出規制が既に適用されている場合には、小規模なバイオマス発電などで大気汚染物質(NO<sub>x</sub>)の排出基準を満たしていてもコベネフィット効果が負になってしまうことがあり得る。大気汚染物質排出削減のコベネフィットの効果は、再生可能エネルギー発電のCDMよりも、先進的の石炭火力発電のCDMの場合に相対的に強く現れる。この傾向は、ベースラインにおける平均火力発電効率が高く、kWhあたりSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出量が小さく、かつCERの価格が低いCDMの場合に、より顕著に認められる。

### 5. 本研究により得られた主な成果

#### (1) 科学的意義

①コベネフィットを考慮した環境外部性の統合評価手法を開発した。

CDM技術のエネルギーシステムについてCO<sub>2</sub>排出量の緩和だけでなく大気汚染など環境影響の外部コストの評価を可能とした。“点”データから“線”ネットワーク、そして“面”マクロな評価へと展開する手法を提案しケーススタディを実施した。

②アジア諸国を対象に分析し、あわせてデータベースを構築した。

中国やインドなど経済成長が著しく、エネルギー消費が増大しているアジア諸国・地域で分析し、エネルギー・経済・環境に係るデータベースを構築した。

③各種環境影響因子に対する支払意思額による外部コストの推計を行った。

SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、PM2.5など大気汚染物質による健康影響だけでなく、社会資産、生物多様性、一次生産の外部コストについて、CVMならびにコンジョイント法を用いて、アジア諸国を対象に分析したのは初めての試みであった。

④各種CDM技術についてのコベネフィット効果を評価した。

開発した手法とデータベースによって、先進石炭火力発電(超々臨界圧、IGCC、CO<sub>2</sub>回収)、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などの発電技術について、2030年までのコベネフィット効果を分析することが可能となった。

#### (2) 環境政策への貢献

##### <行政が既に活用した成果>

平成22年度に、環境省 水・大気環境局 水・大気環境国際協力推進室が(株)富士通総研に委託して実施しているコベネフィット型温暖化対策・CDMの推進に関する検討会において、中国での調査の実施と分析について

報告を行い、資料として活用された。また、低炭素地域社会の構築を目標とするつくば3Eフォーラムにおいて、本研究で開発したモデルであるエネルギーチェーンLCA及び地理情報システム評価法が活用され、つくば市ならびに茨城県における緩和技術オプションの選定に貢献した。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

本研究成果において構築されたモデルは、茨城県のエネルギープラン作成資料として利用されることが見込まれている。また、地理情報システムを用いたミクロなエネルギー技術ライフサイクル評価と緩和技術に関わる社会的認識についての調査および緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価を基にしたマクロなエネルギー需給モデルによる分析結果は、CDMのみならず先進技術の普及、アジア地域と連携した緩和技術の展開などを推進する観点から、コベネフィット・アプローチに関する先進的研究としてわが国の地球環境政策へ貢献するものである。具体的には、以下に示す研究成果は行政への政策的含意として活用が期待される。

- 高効率石炭火力発電プラント(USC, IGCC)の積極的な導入と、石炭から天然ガスへの燃料シフト
  - 中国の新しい大気汚染の環境基準を基にして外部コストを推計し、それをCDMベースラインに取り入れた分析を確立した。
  - 超々臨界圧石炭火力は天然ガス火力よりも経済的な効果大きい。IGCCは、経済的に見てUSCに比べ不利であることが判明した。中国では2040年程度まではUSCは導入されるがIGCCは導入されなかった。インド政府が目標とするCO<sub>2</sub>制約に基づいて分析した結果、電源の多様化が進み、石炭から、次第に天然ガス、原子力、水力の導入量が増加していく。IGCCの導入は見られなかった。
  - 今回の分析で想定した現在のCO<sub>2</sub>排出目標の下では、CCSは天然ガス火力よりも経済的に不利である。
  - 既存石炭火力の性能とコストは、グリッド毎に地域差を考慮して分析した。輸送については、石炭価格をグリッド毎に変えて実際に近い形での分析が実施できた。
  - 在来石炭火力のリプレースが重要である。
- 燃料輸送と電力供給網など社会基盤施設の改善と整備
  - 火力に関しては輸送網により面展開を試みた。結果として省などの行政単位の差のみならず、行政単位内における地域差を明確にすることが可能になった。
  - 中国国内では石炭の有効活用を積極的に実施することが重要になる。燃料輸送での削減余地は大きく、先進石炭火力導入に伴う石炭需要の抑制効果とあわせ、輸送インフラの改善が望まれる。
- 再生可能エネルギーのコスト削減と積極的な導入支援策
  - 中国、インドで実施されているFITに準じて再生可能エネルギー(太陽光、風力、バイオマス)の導入量が評価された。FITはベースライン効果として導入に大きく貢献することが明らかになった。
  - GISで面展開を実施した。省内での分布があり、面展開をしながら点データの収集の重要性が求められる。省単位のデータではなく地域毎のデータ整備が将来的な課題として望まれる。
  - 中国では地域差が大きく、地域ごとの最適オプションの検討が必要になることが明らかになった。SWOT分析で導入障壁を分析し、地域ごとにCDM事業による技術移転の在り方を明らかにした。
- 環境外部性について：
  - 環境価値の妥当な経済的評価を行うために、中国において支払意思額調査を実施した。大気汚染による健康被害回避のための支払意思額のおおよその値が推定され、これに影響を及ぼす要因について判明した。このことはその環境評価に係わる科学的基礎的知見の整備に貢献すると共に、得られたデータの今後の分析により所得が上昇途上にあり、急速に進む中国における環境意識形成についての知見を与えることが期待される。
  - コンジョイント分析を用いた、海外における複数同時の社会調査の実施例はなく、世界全体の環境影響問題へ適用しその有効性を検証した。数が少ないサンプル数で広域的な環境外部コストを分析できた。個別の環境要因のコスト評価としてはまだ課題は残されるが、概ね評価できた。
- コベネフィットを考慮した技術移転のあり方
  - インドでは環境汚染の影響が大きい。一方、大気汚染の改善が先行して行われている中国では、再生可能エネルギーの導入は温暖化対策としての効果が大きく、大気汚染改善のコベネフィットは小さい。再生可能エネルギーの導入は、コベネフィットの有無にかかわらず重要である。
  - 先進火力発電の場合は、CO<sub>2</sub>排出低減効果に比べてコベネフィットの価値が相対的に高まる傾向がある。しかし近年になって新規建設プラントの脱硫率は90%前後と高く、その効果は薄れつつある。今後は、脱硫率がまだ低い既設プラントの改造およびリプレースとして、わが国の技術によってコベネフィットの価

値が発揮されることが望まれる。

- 石炭輸送の最適化を実施し、鉄道などへのモーダルシフトの効果が大きいことを明らかにした。今後は供給部門以外にも、運輸・民生部門など幅広い部門において、わが国の技術移転を検討していくことが重要となる。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

< 査読付き論文 >

- 1) 野村 昇: 日本エネルギー学会誌, 90, 1, 51-58 (2011)  
「上海市における健康リスク経済評価の調査」
- 2) K. OKAJIMA, H. UENO and Y. UCHIYAMA: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 243, 875-884 (2011)  
"Optimization Analysis of Coal Transportation for Introducing Advanced Coal-Fired Power Generation Technology in China"
- 3) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 174, 115-123 (2011)  
"Multi-Criteria Decision Analysis for Assessment of Wind Power in Kazakhstan"
- 4) H. SAMUTA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A263, 1-6 (2011)  
"Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System"
- 5) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A078, 1-6 (2011)  
"Wind Power Development in Kazakhstan: Potential and Obstacles"
- 6) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: The Tenth IASTED European Conference on Power and Energy Systems, Crete, Greece, 414-420 (2011)  
"Co-benefits of internalizing local air pollution costs in India's power sector"
- 7) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Sixth Dubrovnik conference on sustainable development of energy water and environment systems, Dubrovnik, Croatia, NO.382, 1-13 (2011)  
"Assessment of co-benefits from CDM projects for India's power sector"
- 8) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: Proceedings of the International Conference on Applied Energy (ICAE2012), A263, 1-6 (2012)  
"The Geographical Distribution of the Available Area for Large-scale Photovoltaic Energy-potential Evaluations in Liaoning, China"
- 9) A. MURATA and E. ENDO: Journal of Energy and Power Engineering, 6, 7, 1022-1034 (2012)  
"Assessment of CDM Activities by a Generation Planning Model of the Chinese Power Grids"
- 10) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Journal of Energy and Power Engineering, 6, 12, 1925-1934 (2012)  
"Including Co-benefits in the CDM of the Power Sector: A Case Study for India"
- 11) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Energy Policy, 58, 7, 260-268 (2013)  
"Co-benefits of including CCS projects in the CDM in India's power sector"
- 12) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: Journal of Renewable Energy, (2013)  
"Evaluation of Potential Geographic Distribution for Large-Scale Photovoltaic System in Suburbs of China"  
(in press)

< 査読付論文に準ずる成果発表 >

特に記載すべき事項はない

### (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: POWER KAZAKHSTAN 2010, Almaty, Kazakhstan (2010)  
"Co-benefit Approach of Mitigating Technologies toward developing Low Carbon Society in Asia"
- 2) 上野博史、岡島敬一、内山洋司: 第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2011)  
「中国での先進火力導入における石炭輸送の地域別環境負荷分析」

- 3) 渡邊 望、岡島敬一、内山洋司:第30回エネルギー・資源学会研究発表会、東京 (2011)  
「GISを用いた中国都市域におけるSO<sub>x</sub>曝露量評価」
- 4) K. OKAJIMA, H. UENO and Y. UCHIYAMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China (2011)  
“Optimization Analysis of Coal Transportation for Introducing Advanced Coal-Fired Power Generation Technology in China”
- 5) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China (2011)  
“Multi-Criteria Decision Analysis for Assessment of Wind Power in Kazakhstan”
- 6) H. SAMUTA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China (2011)  
“Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System”
- 7) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China (2011)  
“Wind Power Development in Kazakhstan: Potential and Obstacles”
- 8) 野村 昇:第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2011)  
「上海市における環境意識への影響要因の分析」
- 9) 川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司:第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2012)  
「中国主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価」
- 10) 渡邊 望、岡島敬一、内山洋司:第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2012)  
「中国都市域を対象とした先進火力発電技術の導入と外部性評価」
- 11) 佐無田 啓、内山洋司、岡島敬一:第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2012)  
「中国における地域バイオマス発電事業の輸送費用最小化による導入評価」
- 12) Y. UCHIYAMA: International Workshop on a Co-Benefits Approach, Hayama, Japan (2012)  
“Co-benefits and Low-Carbon Societies in Asia”
- 13) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: The 4th International Conference on Applied Energy (ICAE2012), Suzhou, China (2012)  
“The Geographical Distribution of the Available Area for Large-scale Photovoltaic Energy-potential Evaluations in Liaoning, China”
- 14) 岡島敬一、上野博史、川瀬雅士、内山洋司:日本エネルギー学会第49回石炭科学会議、釧路 (2012)  
「中国における石炭輸送最適化の検討と先進火力発電導入評価」
- 15) 野村 昇:第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2012)  
「CDM評価のための大気環境価値の調査」
- 16) 野村 昇:第7回日本LCA学会研究発表会、野田 (2012)  
「CDM対象国でのインパクト評価のための大気環境の経済価値換算」
- 17) K. MURAKAMI, M. NISHIO, E. ENDO, K. YOSHIDA and N. ITSUBO: The 2nd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE 2012), Bandung, Indonesia (2012)  
“Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer”
- 18) M. NISHIO, E. ENDO, K. TOKIMATSU, K. MURAKAMI, M. AICHA, K. YOSHIDA and N. ITSUBO: Eco Balance 2012, Yokohama, Japan (2012)  
“Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer”
- 19) 梁建国、村田晃伸:第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2012)  
「中国における大気汚染の環境ベネフィットを考慮したCCSの導入分析」
- 20) J. LIANG and A. MURATA: International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-11) Kyoto, Japan (2012)  
“Analysis of the CCS Considering Environment Co-benefit of Air Pollutants in China”
- 21) 呉 鏗軒、川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司:第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2013)  
「中国内モンゴル自治区における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル評価」
- 22) 藤崎美弥、内山洋司、岡島敬一:第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2013)  
「中国における太陽電池システム導入のSWOT分析」

- 23) 齊 名、内山洋司、岡島敬一：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2013）  
「中国におけるバイオマス利用に関するSWOT分析」
- 24) 川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司：第8回日本LCA学会研究発表会、草津（2013）  
「中国における燃料輸送を考慮した先進火力発電の導入評価」
- 25) 野村 昇：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2013）  
「山西省農村部における環境価値意識の調査」
- 26) 野村 昇：第8回日本LCA学会研究発表会、草津（2013）  
「CDM ホスト国における大気環境の経済価値調査」
- 27) K. TOKIMATSU, E. ENDO, M. NISHIO, K. MURAKAMI, M. AICHA, K. YOSHIDA and N. ITSUBO: The 3rd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE 2013), Huangshan, China (2013)  
“Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer”

## 7. 研究者略歴

課題代表者：内山洋司

東京工業大学大学院理工学研究科修了、工学博士、(財)電力中央研究所上席研究員、  
現在、筑波大学システム情報系教授、筑波大学産学リエゾン共同研究センター長

研究参画者

(1)1):内山洋司(同上)

2):岡島敬一

東京大学大学院工学系研究科修了、静岡大学工学部助手、筑波大学大学院講師  
現在、筑波大学システム情報系准教授

(2):野村昇

慶應義塾大学大学院理工学研究科修了、工業技術院機械技術研究所主任研究官、  
現在、産業技術総合研究所安全科学研究部門主任研究員

(3)1):西尾匡弘

横浜国立大学大学院工学研究科修了、工業技術院機械技術研究所主任研究官、  
現在、エネルギー技術研究部門 エネルギー社会システムグループ 主任研究員

2):遠藤栄一

九州大学大学院工学研究科修了、工業技術院電子技術総合研究所主任研究官、  
現在、産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門エネルギー社会システムグループ主任研究員

(4):村田晃伸

東京大学大学院工学研究科修了、工業技術院電子技術総合研究所主任研究官、  
現在、産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門エネルギー社会システムグループ グループ長

## E-1001 アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究

## (1) エネルギーチェーンLCAモデル及び地理情報システムによるアジア主要地域における各技術オプションの検討

筑波大学 システム情報系

内山洋司・岡島敬一

平成22～24年度累計予算額：33,844千円

(うち、平成24年度予算額：8,975千円)

予算額は、間接経費を含む。

## [要旨]

2030年までの中国、インドなどアジア地域の数地点におけるクリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）プロジェクトを想定し、技術オプション毎に地域レベルで推定されたCO<sub>2</sub>、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)等のライフサイクル排出削減量と各種技術の導入ポテンシャルを明らかにすることを目的として研究を実施した。地域別のエネルギー供給システムとエネルギーチェーンLCAモデルに必要となるデータを文献調査によって収集を進め、北京（中国）、デリー（インド）、アルマティ（カザフスタン）、太原（中国）において現地ヒアリングを行った。成果の一例として、中国での先進火力導入における石炭輸送の地域別環境負荷分析結果では、超々臨界圧発電（USC: Ultra Super Critical power plant）を発電技術対象とし、発電技術の立地特性に大きく影響を与える石炭輸送について、詳細な検討を行なった。中国全土を対象として、石炭輸送の流れを分析し、石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量を検討するため、石炭産出の分布と発電向けの石炭需要分布を作成し輸送経路ならびに輸送費用の最適化を行った。石炭の需給分布作成や輸送経路検索にあたっては地理情報システム（GIS: Geographic Information Systems）を用い、炭鉱から発電所までのルートを検討することで、輸送コスト最小化ルートやCO<sub>2</sub>排出量最小化ルートについて輸送量の最適化計算を行った。輸送最適化評価をエネルギーチェーン多層評価に組み合わせることで先進火力導入による石炭輸送からのCO<sub>2</sub>削減量をより詳細に明らかにするライフサイクル分析が可能となった。

## [キーワード]

エネルギーチェーン、CO<sub>2</sub>排出、硫黄酸化物、ライフサイクル分析、GIS評価

## 1. はじめに

中国における一次エネルギー需要は2007年に世界需要全体の16%だったものが2030年には23%に達すると予測され、経済発展や人口増大に伴い今後もエネルギー消費量が長期的に増大するとみられている。また、資源別にみると、石炭、石油、天然ガスといった化石燃料の3種類の資源がエネルギー需要全体の8割以上を占めている。アジアの中でも中国では近年の経済成長によりCO<sub>2</sub>排出量が急激に伸びている。2007年における世界のCO<sub>2</sub>排出量は28,829百万t-CO<sub>2</sub>に達したが、この

うち中国は20.7%を占め、ついにアメリカを抜いて世界第1位の排出国となった。エネルギー部門の中でも特に発電部門では大部分を石炭に頼った電源構成であり、CO<sub>2</sub>排出の大きな要因となっている。そのため中国をはじめとするアジア諸国において、導入されうる発電技術の環境評価、経済性評価が求められる。

## 2. 研究開発目的

本サブテーマは、他のサブテーマに求められる技術オプションの基本データの収集・作成を目的としている。エネルギーチェーンLCA (Life Cycle Assessment) モデルを用い対象とするアジアの主要地域における、エネルギー需給、CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>等の排出量を技術別に出力する。GISを用いた再生可能エネルギーの賦存量評価をあわせることで、先進火力エネルギーのみならず、再生可能エネルギーについて地域レベルでの詳細評価が可能となる。中国の先進石炭火力導入、石炭火力導入に伴うCO<sub>2</sub>以外の汚染物質については、環境影響経路法とGISを用いて地域別にみた曝露影響を定量的に明らかにすることも目的とし、コベネフィット分析に求められるアウトプットを算出する。中国全域を対象とした石炭輸送フローの最適化を伴う先進火力導入評価を中心に実施し、加えて石炭火力発電所からの排出SO<sub>x</sub>拡散に伴う暴露評価として山西省を代表地点としたケーススタディを進めた。再生可能エネルギー導入評価として中国沿岸都市域でのバイオマス発電、集中型大規模太陽光発電、等の再生可能エネルギー導入評価を進め、先進火力導入に伴う外部性評価ならびにアジア地域において再生可能エネルギー導入評価を展開するための手法構築ならびにデータベースの構築を目標とする。

## 3. 研究開発方法

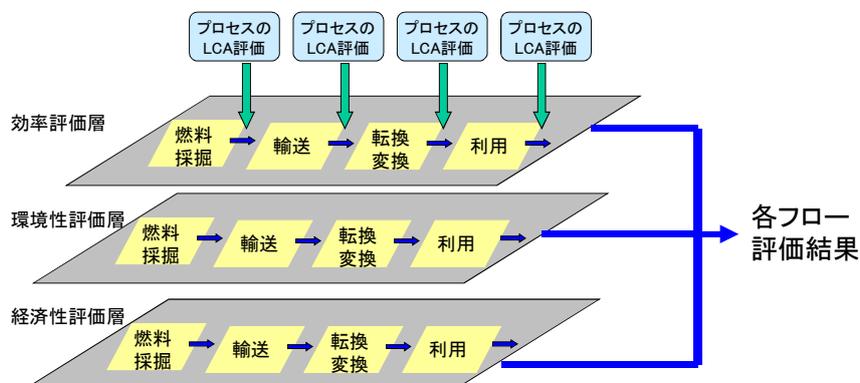
### (1) 先進火力発電の導入評価

#### 1) エネルギーチェーンLCAモデルの概要

エネルギー源は主に石油、石炭、天然ガス、原子力、再生可能エネルギー(太陽光、風力、バイオマスなど)である。それらのエネルギー源は燃料採掘、輸送、変換・転換、利用などの流れからなるエネルギーシステムによって、エネルギーを供給している。種々のエネルギーシステムの比較をするには、エネルギー源の燃料採掘から輸送、貯蔵、変換、利用などエネルギーのサプライチェーン全体を通じた客観的な評価が必要である。実際に、様々な研究機関も新規のエネルギーシステムの導入を分析する際には、エネルギーがどのようなプロセスを経て供給されるかという、サプライチェーン全体を通じた評価を行い、そのエネルギーシステムの環境性、経済性を明らかにしている。様々な経路を組み合わせたエネルギーの流れを「エネルギーチェーン」と定義し、エネルギーに関するサプライチェーン全体を考慮することでエネルギーシステムの客観的な評価を行う手法を「エネルギーチェーン評価手法」と呼ぶ。

本研究ではこのエネルギーチェーン評価手法を基に、エネルギーチェーン全体のエネルギー変換効率、CO<sub>2</sub>排出量といった環境性、各種プロセスの利用コストといった経済性など、多層的に評価を行うことが出来るエネルギーチェーンLCAモデルを用いて分析を行う。エネルギー供給の流れを原料、採掘、前処理、海外輸送、貯蔵、転換・変換、国内輸送、利用といった経路に分類し、これらをつなぎ合わせることでエネルギーチェーンを構成する。この最小単位は1つのボックスとして取り扱われ、このボックスを組み合わせることでエネルギーチェーンを通じた評価が実施で

きる。評価内容により分析を効率シート、環境性シート、経済性シートのようにシートで分割し、各層で計算を実行することで、多層的に評価を行う。エネルギーチェーンLCAモデルの概念を図(1)-1に示す。



図(1)-1 エネルギーチェーンLCAモデルの概念

## 2) 先進火力発電評価現地ヒアリング

詳細な技術条件を用いるために現地ヒアリングを行った。一例として2011年11月10～14日に行った山西省太原第一発電所でのヒアリング(図(1)-2)について記す。発電所所長他2名に対応頂いた。設備容量は6基で計127.5万kWであり、亜臨界ボイラを用いている。発電所の脱硫設備は10年前に日本企業の技術供与にて乾式簡易脱硫装置が導入され、その後独自に湿式へ改良し石膏石灰法高度脱硫とのことであった。高脱硫率とされていたが、定常的なデータは入手できなかった。脱硝装置は検討中であった。これら現地ヒアリング調査結果及び文献データを元に、技術諸元を設定した。



(a) 石炭火力ボイラ下部



(b) 脱硫工程

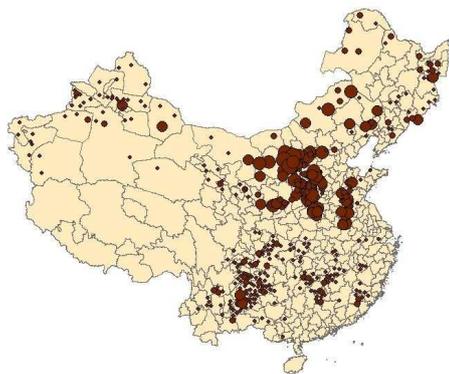
図(1)-2 太原第一発電所でのヒアリング

## 3) 燃料輸送を考慮した導入評価方法

発電技術の立地特性に大きく影響を与える石炭輸送について詳細な検討を行なった。中国全土を対象として、石炭輸送の流れを分析し、石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量を検討するため、石炭産出の分布と発電向けの石炭需要分布を作成、輸送の最適化を行った。

中国の各行政区を対象に統計データ<sup>1,2)</sup>から作成した434か所の石炭供給地、228か所の需要地データより、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いて火力発電向けの石炭需給地分布を作成した。作成した石炭需給地の分布図を図(1)-3に示す。中国煤炭工業年鑑<sup>2)</sup>の県級別地方炭鉱のデータを基に、年間産出量30万トン以上の地方炭鉱のデータが無い新疆ウイグル自治区、青海省、浙江省においては炭鉱情報<sup>3)</sup>を基に供給地分布を作成した。供給量はエネルギーバランス表の省級別の石炭総産出量を地方炭鉱年間産出量に応じて按分して求めた。発電向け石炭需要地分布は、中国電力年鑑の設備容量100万kW以上の火力発電所情報を用いて作成した。需要量はエネルギーバランス表<sup>4)</sup>の火力発電向け省級別石炭総需要量を発電所の年間発電電力量に応じて按分することで求めた。

石炭輸送は鉄道輸送、トラックによる道路輸送、船舶による沿岸輸送を想定し、GISを用いて輸送ネットワークを構築した。図(1)-4に示す。各需給地間の輸送における費用またはCO<sub>2</sub>排出量が最小となるルート求めた後、輸送方法別の輸送単価およびCO<sub>2</sub>排出原単位を考慮して各ルートにおける単位輸送量当たりの費用およびCO<sub>2</sub>排出量を求めた。



図(1)-3 石炭供給地の分布



図(1)-4 輸送方法別経路

表(1)-1 輸送方法別の輸送費用、CO<sub>2</sub>排出原単位

輸送費用	鉄道輸送：0.036元/t・km トラック輸送：0.33元/t・km 沿岸輸送： 港取り扱い費用 8.7元/t・回 距離に応じた費用 0.0115元/t・km
輸送CO <sub>2</sub> 排出原単位	鉄道輸送：8.02g-CO <sub>2</sub> /t・km トラック輸送：163.8g-CO <sub>2</sub> /t・km 沿岸輸送：17.7 g-CO <sub>2</sub> /t・km

石炭の輸送方法として鉄道輸送、道路輸送、沿岸船舶輸送を対象とし、これら複数手段の組み合わせによって輸送される。各輸送方法のCO<sub>2</sub>排出原単位、輸送費用の設定を表(1)-1に示す。輸送費用は文献<sup>5,6)</sup>を基にした。また、輸送方法別CO<sub>2</sub>排出原単位はそれぞれの燃料消費原単位<sup>7)</sup>と燃料のCO<sub>2</sub>排出原単位<sup>8)</sup>から算出している。石炭輸送最適化の際の石炭供給量は発電向けの石炭消費量

と一致させた。その省における石炭総生産量のうち発電向けの量は、各省級別の石炭消費量のうち発電向けの割合を国家鉄路による石炭の輸送実績データ<sup>9)</sup>を用いて各省級別石炭生産量のうち発電向けに使われる割合を推計し、各石炭産出ポイントの産出量に乗じた。

輸送量は線形計画法により輸送費用最小化、もしくはCO<sub>2</sub>排出量最小化として計算される。目的関数および制約条件を(1), (2)式に示す。目的関数は炭鉱から発電所への石炭輸送量に輸送費用、もしくはCO<sub>2</sub>排出量に乗じたものの合計が最小となるように設定し、制約条件は炭鉱から出て行く石炭輸送量はその炭鉱の生産量 $P$ を上回らない、発電所の需要 $R$ が丁度満たされる、輸送量が負としない、とした。

$$\min. z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in I} t_{ij} \leq P, \quad \sum_{j \in J} t_{ij} \leq R, \quad t_{ij} \geq 0 \quad (2)$$

$$\forall i \in I, \quad \forall j \in J$$

$t_{ij}$  : 炭鉱  $i$  から発電所  $j$  への石炭輸送量

$x_{ij}$  : 炭鉱  $i$  から発電所  $j$  への石炭輸送費用、またはCO<sub>2</sub>排出量

$P$ : 炭鉱の石炭生産量（発電向け）     $R$ : 発電所の石炭需要量

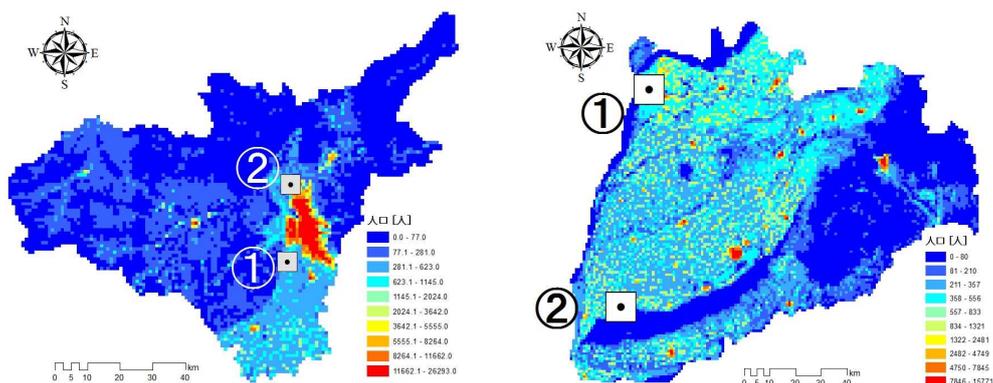
$I$ : 石炭産出ポイント

$J$ : 石炭消費ポイント

既存火力発電における石炭需要量に加え、既存火力発電の全てを先進石炭火力発電の超々臨界石炭火力発電（USC: Ultra Super Critical, 効率45%）で代替した場合における石炭輸送最適化についても検討を進めた。高効率の先進火力発電を導入した場合、効率上昇に伴う石炭需要量の減少が見込まれる。また、輸送最適化および先進火力発電導入における石炭輸送最適化結果の比較対象として統計データから石炭輸送実績における輸送費用、CO<sub>2</sub>排出量を評価した。輸送以外における環境性・経済性評価についても評価を実施した。

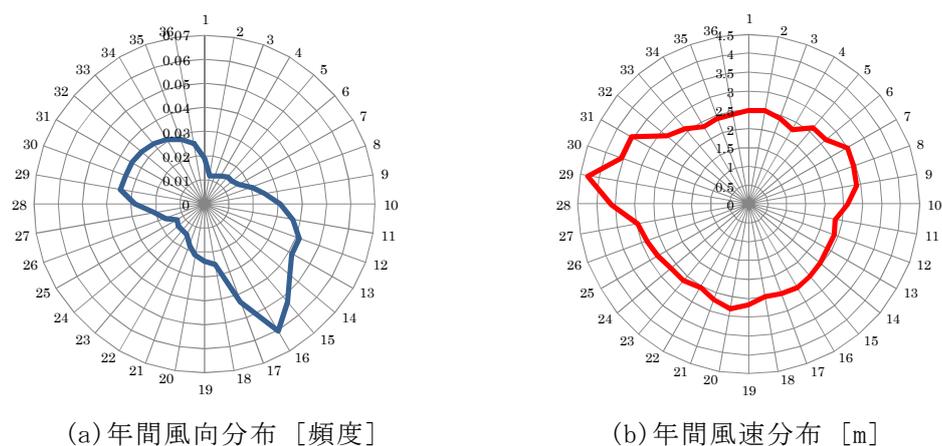
## （2）都市域を対象とした先進火力発電技術導入と外部性評価

中国の石炭主要産地である、山西省の省都太原市を評価地域主対象とし、山西省南西部にある運城市についても比較対象として評価を行った。これらの地域に対し、先進火力発電技術導入と外部性評価を進めた。排出源の設定として、太原市・運城市に実在する主要な石炭火力発電所をモデルとして、実在の発電所の位置と設備容量のデータを基に、太原市・運城市にそれぞれ2ヶ所の発電所を設定した<sup>1,10)</sup>。各発電所の年間設備利用率は75%とし、年間発電量を算出した。排出源である発電所からのSO<sub>x</sub>排出量は、年間発電量に発電量当たりのSO<sub>x</sub>排出原単位を乗じて、平均排出量として算定した。排出原単位は、設備容量に応じた値を用いた。人口統計を基に、1km四方のグリッドで構成されるGISメッシュデータを構築した。図(1)-5に、作成した太原市および運城市の1km人口メッシュデータおよび発電所立地設定を示す。



図(1)-5 太原市（左）・運城市（右）の人口分布と発電所立地設定

風況分析にはSYNOP（地球実況気象通報式）によって得られた観測データを用いた。一日ごとの観測データ一年分から年間平均風況を算出した。一日ごとの観測データ一年分から年間平均風況を算出した。一日のデータは4回（0時、6時、12時、18時）の観測データから構成されている。2009年度のSYNOPデータを使用した、太原市における年間平均風況を図(1)-6に示す。



(a) 年間風向分布 [頻度]

(b) 年間風速分布 [m]

図(1)-6 太原市の方位別風況分布

拡散シミュレーションを含めた全ての分析をGIS上でを行い、評価を進めた。汚染物質の拡散予測に用いる大気質モデルとして、都市域大気汚染の被害評価に一般的に用いられるガウシアンルームモデルを用いた。本研究で用いるモデル式を(3)式に示す。

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -0.5 \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 - 0.5 \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (3)$$

- $C$  : 物質濃度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$   
 $R$  : 排出源からの風下距離 $[\text{m}]$   
 $z$  : 排出源からの鉛直方向距離 $[\text{m}]$   
 $Q$  : 排出強度 $[\text{kg}/\text{s}]$   
 $U$  : 平均風速 $[\text{m}/\text{s}]$   
 $\sigma_y\sigma_z$  : 拡散パラメータ $[\text{m}]$   
 $H_e$  : 有効煙突高 $[\text{m}]$

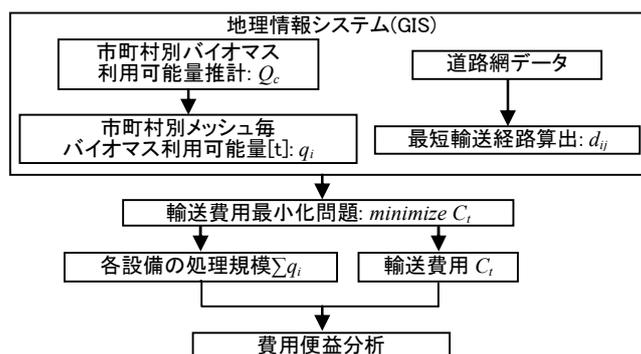
暴露量シミュレーションでは、両市の2ヶ所の発電所に対して、脱硫の有無について2つのシナリオで評価を行った。設備容量1000MWを超える比較的大型の石炭火力発電所に対しては、高度脱硫装置（脱硫率95%）を、1000MW以下の中小型石炭火力発電所に対しては簡易脱硫装置（脱硫率40%）を導入するとした。高度脱硫装置の初期費用及び運転費用は669元/kW、5794万元/基とし、簡易脱硫装置についてはそれぞれ476元/kW、1700万元/基とした。

これらの前提条件に基づき、拡散シミュレーションによって求めた $\text{SO}_2$ 濃度分布を用いて暴露量評価を行った。1kmメッシュのセルごとに $\text{SO}_2$ 濃度と人口分布データを乗じて算出を行った。被害量 $R$ の推計には日本版被害算定型影響評価手法（LIME; Life-cycle. Impact assessment Method based on Endpoint modeling）の被害係数を用いた<sup>11)</sup>。

### （3）再生可能エネルギー導入評価

#### 1) 地域バイオマス発電の輸送費用最小化による導入評価

農産系のバイオマスである稲、麦、トウモロコシの生産によって発生する残渣を対象とした。開発した経済分析モデルの概要を図(1)-7に示す。モデルでは、GISを用いて、バイオマスの利用可能量、および輸送距離を推計し、GISの推計から得られたデータを用いて輸送費用最小化問題を解いた。輸送費用最小化問題の解を基に、地域におけるバイオマス利用の費用便益分析を行った。



図(1)-7 分析手法の概要

各農産バイオマスは、各省における穀物生産量<sup>12,13)</sup>から穀草比を用いて推計した。表(1)-2に各バイオマス資源の前提条件を示す。各メッシュのバイオマス生産面積としては、稲は水田、麦、およびトウモロコシは畑の面積を使用した。バイオマスの貯蔵コストは無視し、年間を通じてバイオマスが継続的に得られると仮定した。バイオマス資源の購入単価には、前処理費用が含まれ

た値を用いた<sup>14)</sup>。

対象地域は、中国における各電力グリッドから広東省、湖南省、山西省、遼寧省、長江下流域3省（上海市、江蘇省、安徽省）とした。また、特に農産バイオマスの賦存量が多い地域として、河南省、および山東省を対象に分析を行った。エネルギーの転換設備として、蒸気ボイラ発電を想定し、表(1)-3に示す前提条件で分析を行った。

表(1)-2 バイオマス資源の前提条件

	穀草比	利用可能率 [%]	低位発熱量 [MJ/t]	購入単価 [元/t]
稲	1:0.623	60	12545	224
麦	1:1.366	60	14635	224
トウモロコシ	1:2.0	60	15472	224

表(1)-3 エネルギー転換設備・経済性分析の前提条件

年間稼働日数 [d/yr]	365
施設稼働時間 [h/d]	15
スケール係数 $\alpha$	0.7
最大発電効率 [%]	30
借入金利	0.03
償却年数 [yr]	15
基準建設費用 [百万元]	293.3
基準施設規模 [t/h]	31.4
輸送単価 [元/t・km]	0.5
バイオマス購入単価 [元/t]	224
O&M費用単価 [元/t]	75
所得税 [%]	33
地方税教育税 [元/t]	2.26

バイオマス利用可能量は、中国各省内のバイオマス利用可能量の密度を一定と仮定し、メッシュ毎の土地利用面積に比例して、案分推計した。メッシュ毎の利用可能量を求める算出式を(4)式に示す。

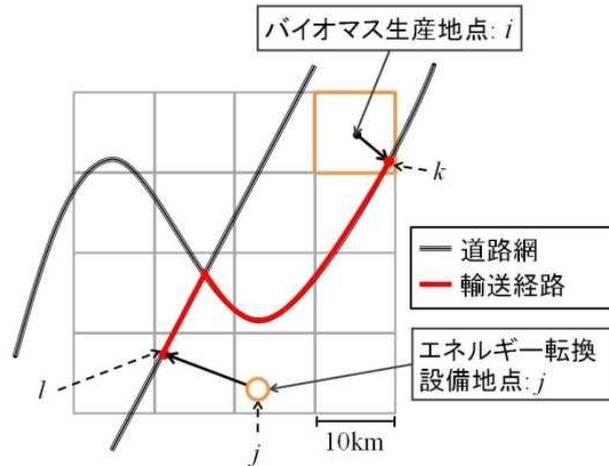
$$q_i = \left( a_{i,c} / \sum_{i \in N} a_{i,c} \right) \cdot Q \quad (4)$$

$N$ はバイオマス生産地点数、 $i$ は各メッシュの番号であり、 $c$ は県級市番号である。 $q_i$ は各メッシュのバイオマス利用可能量[t]であり、 $a_{i,c}$ は各メッシュのバイオマス生産面積[km<sup>2</sup>]である。 $Q$ は各省におけるバイオマス利用可能量[t]である。

輸送距離を正確に計算するために、道路網データをGISに取り入れて推計した。輸送距離の算出式を(5)式に示す。

$$d_{ij} = d_{ik} + d_{jl} + d_{kl} \quad (5)$$

$j$ はエネルギー転換設備の立地候補地点番号、 $d_{ij}$ は $i$ と $j$ 間の距離[km]、 $d_{ik}$ 、 $d_{jl}$ は $i$ 、 $j$ から道路上の最短距離にある地点 $k$ 、 $l$ への距離[km]、 $d_{kl}$ は道路上の地点 $k$ 、 $l$ 間の距離[km]である。バイオマスの生産地点をメッシュの重心点、エネルギー転換設備の立地候補地点を県級市の重心点と仮定した。輸送距離の推計手法の概略図を図(1)-8に示す。



図(1)-8 輸送距離の推計

輸送費用最小化を、施設配置問題であるpメディアン問題を適用して推計した。設備の建設費用と輸送費用のトレードオフを解決するためには、設置地点・処理規模・設置数の3要因を考慮する必要がある。本研究では、需要点をバイオマスの生産地点と見なし、設備設置地点数を外生的に与えて、輸送費用最小化問題を解き、設置地点・処理規模を決定する。次に、その解から事業全体の損益が最大となる設置数を得る。輸送費用最小化問題の目的関数を(6)式に示す。

$$\min. C_t = \left\{ \sum_{i \in N} \sum_{j \in M, i \neq j} (q_i \cdot d_{ij} \cdot x_{ij}) \right\} \cdot P_t \quad (6)$$

輸送費用は重み付き総移動距離を最小化する問題を解き、輸送単価を乗じて算出した。 $C_t$ は輸送費用[元]、 $P_t$ は輸送単価[元/t・km]、 $M$ は設備設置候補地点数である。 $x_{ij}$ は整数変数であり、 $i$ 地点から生産されたバイオマスがエネルギー転換設備設置地点 $j$ において処理される場合は1、処理されない場合は0となる。制約条件を以下に示す。

$$s. t \quad \sum_{j \in M} x_{ij} = F \quad (7)$$

$$\sum_{j \in M} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq x_{ji}, \forall i \in N, j \in M, i \neq j \quad (9)$$

$$d_{ij} = 0 \quad | \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (10)$$

(7)式はエネルギー転換設備の設置数を制約する式であり、 $x_{jj}$ の合計がエネルギー転換設備の設置地点数 $F$ である。(8)式は、ある地点で生産されたバイオマス資源が、複数のエネルギー転換設備間での競合されることを避けるための制約式である。(9)式は、エネルギー転換設備が存在しない地点に、バイオマス資源が配分されることを防ぐ制約式である。(10)式は、設備設置候補地点数までのバイオマス生産地点が、最適化の計算上で目的関数に加算されるようにするための制約である。

転換設備の建設費用を(11)式に示す

$$C_c = P_c \cdot (e/e_c)^\alpha \quad (11)$$

$C_c$ は転換設備の建設費用[元]、 $P_c$ は基準建設費用[元]である。 $e$ は推計の対象となるエネルギー転換設備の処理規模[t/h]である。 $e_c$ は基準となる処理規模であり、処理規模の大きさに対してスケール係数 $\alpha$ を乗じて、スケール効果を考慮した。年間あたりの建設費用を(12)式に示す。

$$C_{cyr} = C_c \cdot \left\{ IR / \left( 1 - (1 + IR)^{-DP} \right) \right\} \quad (12)$$

$C_{cyr}$ は年間あたりの建設費用[元]、 $IR$ は借入金利、 $DP$ は償却年数[yr]である。

## 2) 都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価

地域性を考慮して中国の主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価を遼寧省および広東省を対象として行った。評価対象は大規模なシステムを前提とし、20MW以上の設備容量をもつ集中型太陽光発電システムとした。システムを構成する太陽電池のレイは地上架台設置型、設置方向は真南、設置角度は設置地点の緯度と同じとした。またモジュールは結晶系のものとした。導入可能面積は集中型太陽光発電システムが導入可能となる導入制約条件を満たす土地の面積とした。GIS上で評価対象地域を1km×1kmに区分されたメッシュ(1kmメッシュ)毎に導入可能面積を算出した。本研究では導入制約条件を下記①～③とした。この導入制約条件の①～③を満たすメッシュを順に抽出し、最終的に導入可能面積を持つメッシュを抽出した。

- ① 人口密度5,000人/km<sup>2</sup>以上の人口密集地から4km以上8km以内<sup>15)</sup>のメッシュ
- ② 傾斜勾配1%以下を満たすメッシュ
- ③ 海岸付近を除く草地・未利用地面積を持つメッシュ

導入制約条件①は都市中心部の発展および集中型太陽光発電システムは電力需要地付近への導入が望ましいことを理由に設定した。この制約条件で必要な5,000人/km<sup>2</sup>を満たす人口密集地を明らかにするために、人口統計データを用いた。導入制約条件②は集中型太陽光発電システムの設置コストを増加させないために平坦な土地が必要という理由から設定した。この制約条件で必要となる傾斜勾配はChina Historical GISの数値標高モデル(Digital Elevation Model: DEM)データ<sup>16)</sup>をGISにより解析し算出した。導入制約条件③は導入の可能性が高い土地という理由から設定した。この制約条件で必要な草地・未利用地の面積にはGIS用1kmメッシュ土地利用データ<sup>17)</sup>を用いた。

導入可能設備容量は1kmメッシュ内の導入可能面積に単位面積当たりの設備容量を乗じること

で1kmメッシュ毎に算出した。本研究では用いる単位面積当たりの設備容量を44MW/km<sup>2</sup>とした<sup>18)</sup>。ここで、用いた土地利用データの性質上、1kmメッシュ内の導入可能面積の詳細な分布が明らかでない点、また集中型システムを導入には連続した土地が必要となる点から、1kmメッシュ内の導入可能面積で集中型システム導入が可能となる割合(導入可能割合)を10%から100%まで10%毎に設定した。そして、導入可能割合毎に導入可能設備容量も算出した。

太陽光発電量の算出には(13), (14)式を用いた<sup>19)</sup>。

$$E_{Pm} = K \times P_{AS} \times H_{Am} / G_s \quad (13)$$

$$K = K_{HD} \times K_{PD} \times K_{PM} \times K_{PA} \times K_{PT} \times \eta_{INO} \quad (14)$$

$E_{Pm}$  : 月間太陽光発電量[kWh/月]

$K$  : 月別総合設計係数

$P_{AS}$  : 標準太陽電池アレイ出力[kW]

$H_{Am}$  : 月積算傾斜面日射量[kWh/(m<sup>2</sup>・月)]

$G_s$  : 標準試験条件における日射強度[1kW/m<sup>2</sup>]

$K_{HD}$  : 日射量年変動補正係数(0.97)

$K_{PD}$  : 経時変化補正係数(結晶系: 0.95)

$K_{PM}$  : アレイ負荷整合補正係数(0.94)

$K_{PA}$  : アレイ回路補正係数(0.97)

$K_{PT}$  : 温度補正係数

$\eta_{INO}$  : パワーコンディショナ実効効率(0.90)

月積算傾斜面日射量にはSolar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) のGIS用日射量データ<sup>20)</sup>を用いた。総合設計係数は太陽光のエネルギーを電気エネルギーに変換する割合を示す。日射量年変動補正係数は推定した期間日射量の確からしさを示す。経時変化補正係数は太陽電池モジュールの表面の汚れ、太陽電池への日射強度が変化することによる損失の補正、太陽電池の特性差による補正などを示す。アレイ負荷整合補正係数は負荷との見合いで決定されるアレイ電力の動作点が、どの程度太陽電池アレイの最適動作点からずれているかを示す。温度補正係数は、太陽電池の温度が上昇すると変換効率が低下するという特性による変換効率の変化の補正を示す。またインバータ効率とは、太陽電池が発電した直流を交流に変換するインバータという機器の効率を示している。

温度補正係数は気温によって変化するため、各都市域の月別温度補正係数を(15), (16)式で算出した<sup>19)</sup>。モジュールの温度係数は結晶系の値を用いた。月平均気温は世界気象資料<sup>21)</sup>を用いた。

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax}(T_{CR} - 25)/100 \quad (15)$$

$$T_{CR} = T_{AV} + \Delta T \quad (16)$$

$K_{PT}$  : 温度補正係数

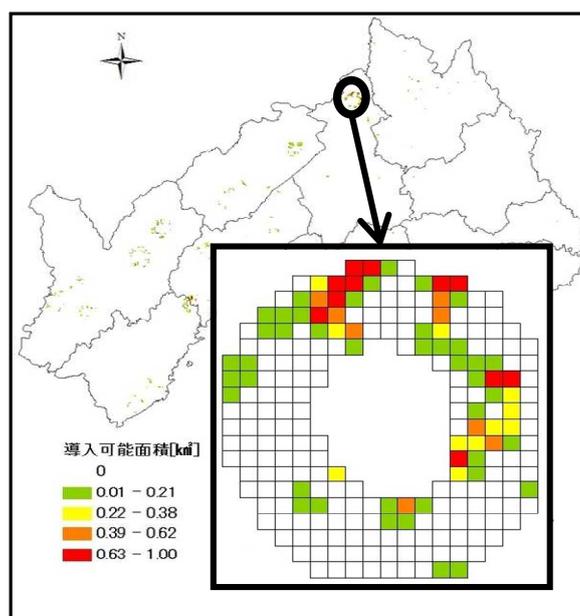
$\alpha_{Pmax}$  : モジュールの温度係数[1/°C] (-0.41)

$T_{CR}$  : 加重平均太陽電池モジュール温度[°C]

$T_{AV}$  : 月平均気温 [°C]

$\Delta T$ : 加重平均太陽電池モジュール温度上昇 [°C] (架台設置型:18.4°C)

年間のCO<sub>2</sub>排出削減量は電力網に接続された既存発電設備の発電を導入する集中型太陽光発電システムが代替することにより生じるものと想定する。したがって、CO<sub>2</sub>削減原単位はCDM統合方法論(ACM0002)に基づき算出した。図(1)-9に遼寧省におけるメッシュ評価例を示す。なお、本研究ではシステム導入によるCO<sub>2</sub>の発生およびシステム稼働に必要な電力は考慮していない。



図(1)-9 メッシュ評価例

#### (4) 再生可能エネルギー導入における意思決定分析

##### 1) バイオマス技術導入における意思決定分析

バイオマス種導入の評価基準は多数存在し、互いに共通の尺度がない故、意思決定の際に客観的な配点を設定することが困難である。CDMの実施のためには中国の意思決定評価だけではなく、先進国側の意思決定も分析評価することを求められる。ここでは中国の地域性および、バイオマス発電事業の各種評価に対する意思決定法を明らかにしたバイオマス資源導入のポテンシャル分析を可能とする分析手法を検討した。

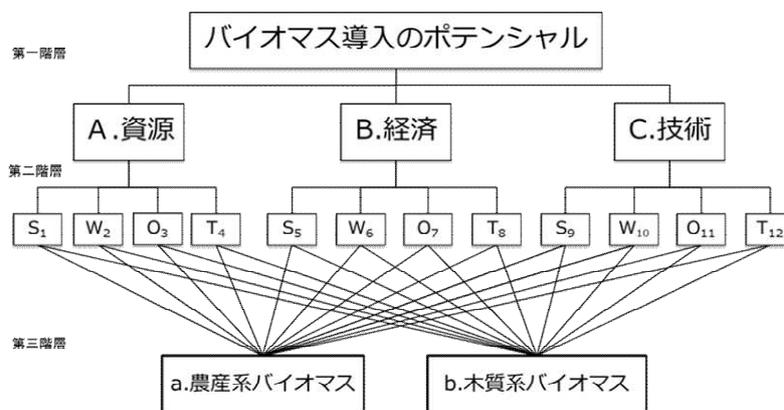
農産系バイオマス種と木質系バイオマス種を対象として分析を行った。まずSWOT分析を用い、資源導入条件が持つ評価項目を資源面、経済面、技術面及び、正負要因に整理した。そこで、本研究はこの問題点を踏まえ、SWOT分析<sup>22)</sup>を用いてバイオマス発電事業がもつ評価基準の整理を行った。SWOT分析とは、S: Strength (強み) W: Weakness (弱み) O: Opportunity (機会) T: Threat (脅威) の頭文字である。SとWは内部要因で、導入に関連した要因の強み・弱みを指す。OとTは外部要因で、これらは政治・経済的な要因に関連する要因を指す。

バイオマス発電事業は、発電部門だけではなく、輸送部門、民生部門そして農林水産部門まで広範囲に関わり、発展的な影響を及ぼす。そのため、本研究は各部門の多様な評価項目を分類するにあたり、A. 資源・安定供給、B. 経済・制度、C. 技術・環境の3項目に整理した。次に、評価項

目がバイオマス発電事業内部から外部環境に影響を与える内部要因であるか、外部環境からバイオマス発電事業に影響を与える外部要因であるか検討し、バイオマス発電を導入する中国の立場から各評価項目をSWOT要素に分類し、計12要素で分析を行った。本研究で作成したSWOT表を表(1)-4に示す。この分類をもとに、AHP法 (Analytic Hierarchy Process, 階層化意思決定法) を用いて評価基準に重みづけを行い意思決定に客観的な配点を設定した。本研究で用いるAHP階層図を図(1)-10に示す。

表(1)-4 バイオマス導入に対するSWOT表

要因	S(Strengths)	W(Weaknesses)	O(Opportunity)	T(Threat)
要素	内部要因	内部要因	外部要因	外部要因
A. 資源・安定供給	①豊富な資源量	②季節変動(不安定性)	③政府の各種補助政策	④長期運用の不確実性
B. 経済・制度	⑤電力需要の増加	⑥他電源との競合	⑦地域経済の発展と雇用創出	⑧制度的障害
C. 技術・環境	⑨エネルギー構成の改善	⑩高価な技術コスト	⑪外国との技術協力(CDM等)	⑫国産化の難しさ



図(1)-10 バイオマス技術導入意思決定分析AHP階層図

バイオマス発電事業の評価基準は資源性、経済性、技術性だけでなく、地域性も評価条件に強く関係する。そのため、中国を対象とした発電事業の意思決定評価及び資源導入評価を行う場合、地域ごとの分析評価が必要である。そこで本研究は、地域ごとの分析評価に対応した分析システムにするため、特定地域における分析評価を行った。各省の地理的特性、人口、経済発展度、資源状況、電力グリッド、バイオマス発電所箇所数、そしてSWOT分析の12要素の評価項目の条件が異なる省を選択した結果、分析対象省を、黒竜江省（東北区域電力網）、山東省（華東区域電力網）、陝西省（西北区域電力網）、四川省（華中区域電力網）とした。中国の主要農産バイオマス種は主に穀物残渣である。穀物残渣のうち主要な作物残渣穀物は稲、麦、トウモロコシの作物残渣である。そのため本研究では、稲、麦、トウモロコシの作物残渣を対象に、資源利用可能量を穀物生産量<sup>13)</sup>とCRI (Crop-to-Residues Index) 値<sup>23,24)</sup>に基づいて推計した。木質バイオマス資源量は、木材及び竹林伐採商品生産量と非商品材生産量<sup>25)</sup>を基に推計した。

またバイオマス事業のホスト国側と投資国側の意思決定を調査するために、本研究では、日本と中国の有識者を対象にヒアリング調査を行い、意思決定の評価を明らかにした。その内容は、

資源導入条件の評価基準である、A. 資源・安定供給、B. 経済・政策、C. 技術・環境資源専門とする有識者に対して、ヒアリング調査を行うものである。本研究のヒアリング対象者は中国側として①ホスト国である中国のエネルギー環境政策担当者、②環境学の専門家、③中国環境経済の専門家、④中国一般人、の4種の立場の方々に、日本側として、①エネルギー環境政策担当者、②CDMプロジェクト実施者、③中国環境問題の専門家に行った。有識者は各々の立場からヒアリングシートに基づく意思決定を行い、その結果を用いて分析評価を行った。

## 2) 太陽光発電導入における意思決定分析

中国で太陽光発電システム導入を進めているにも関わらず、CDM案件として太陽光発電システムの導入が進んでいないのが現状である。この要因を明らかにするためにCDM案件として太陽光発電システムの導入を決定する専門家がどのような要因を重視して導入決定に至るのかを明らかにする必要がある。そうすることで中国における太陽光発電産業の強みや機会を理解し弱みや脅威を認識し改善することが可能である。前項のバイオマス発電技術と同様に、SWOT-AHP法を用いて専門家が太陽光発電システム導入の際にどのような要因・条件を重視・問題視し、太陽光発電システム導入の際の強みや弱み、脅威・機会としているのか調査・評価を行った。また、条件の異なる複数の対象地域を比較することで太陽光発電システム導入に適切な対象地域の検討を進めた。

太陽光発電システムの導入には利点のみならず問題点も存在する。これらの項目を、SWOT分析を用いて4つに分類する。分類を行う際、回答者の立場が変化すれば内部要因と外部要因は変化してしまう。そのため、本調査では政策決定者の立場からみた太陽光発電システムを取り巻く環境をSWOT分析の考えをもとに整理・分類を行った。その結果を表(1)-5に示す。

表(1)-5 輸送方法別の輸送費用

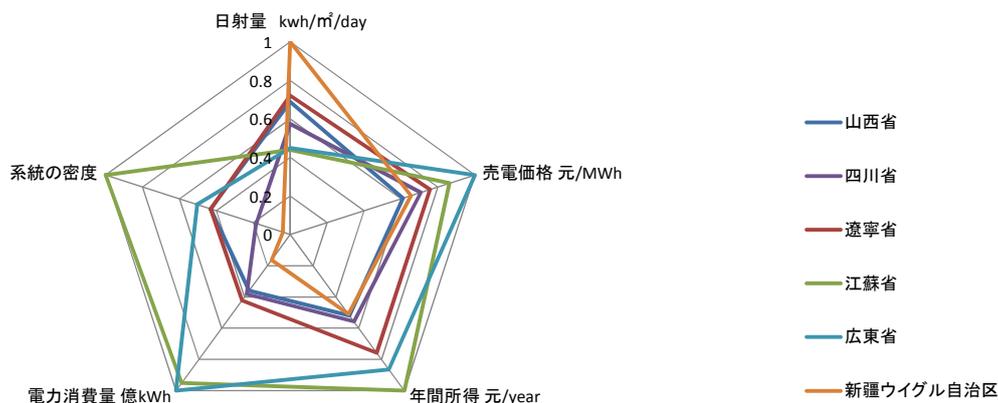
強み: Strength	a	日射量が多いと発電量が増える
	b	導入に経済的なメリットがある
弱み: Weakness	c	初期コストの負担が大きい
	d	石炭火力などよりも発電コストが高い
機会: Opportunity	e	電力需要が増大している地域での導入が期待できる
	f	環境政策があると導入が進み易い
脅威: Threat	g	設置できる土地制約がある
	h	電力系統が未整備の場所での導入は難しい

本研究ではヒアリングの対象をCDM案件での太陽光発電システム導入決定に関わる6種の立場の専門家に設定し、ヒアリング調査を進めた。クレジット購入者である日本とホスト国である中国の専門家からなる。選択する際には、両国の政策担当者、専門家、CDM導入実施者を選択した。それぞれの専門家は、①エネルギー環境政策担当者（政策担当者）、②環境問題の専門家（専門家）、③CDM評価者（CDM導入実施者）、④中国のエネルギー環境政策担当者（政策担当者）、⑤環境経済の専門家（専門家）、⑥再生可能エネルギー研究者（CDM導入実施者）、という立場にある。

導入対象地域として中国の6電力グリッドである東北電網、華北電網、華東電網、華東電網、華中電網、西北電網の中からそれぞれ特徴の異なる山西省・四川省・遼寧省・江蘇省・広東省・新疆ウイグル自治区の5省1自治区を選択した。山西省は、全体的な値が低いのが特徴の省であり特に大きく突出して大きな値の項目がない。四川省はすべての値が低い、その中でも特に系統の

密度が非常に低い。遼寧省は、比較的日射量が高いのが特徴である。また、電力価格、年間所得も比較的高いが、電力消費量と系統密度はそれほど高くない。江蘇省は、日射量を除くその他4つの値が非常に高い。広東省は、江蘇省と非常に特徴が似ているが、日射量だけでなく系統の密度の値がそれほど高くない特徴を持つ。新疆ウイグル自治区は、系統密度は非常に低く、その他の電力消費量や年間所得も低い値となっているが、日射量が非常に高い特徴を持つ地域である。

これらの省の特徴をまとめたものを図(1)-11に示す。系統密度は、当該省内の送電系統の長さを省の面積で除して算出したものであり、それぞれの値は5省1地域の値の最大の値が1.0になるように設定した。ヒアリングにおいてはこのレーダーチャートを提示し、各省の特徴を示しながらヒアリングを進めた。



図(1)-11 対象各省の特徴

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 先進火力発電の導入評価

###### 1) 中国における石炭フロー分析結果

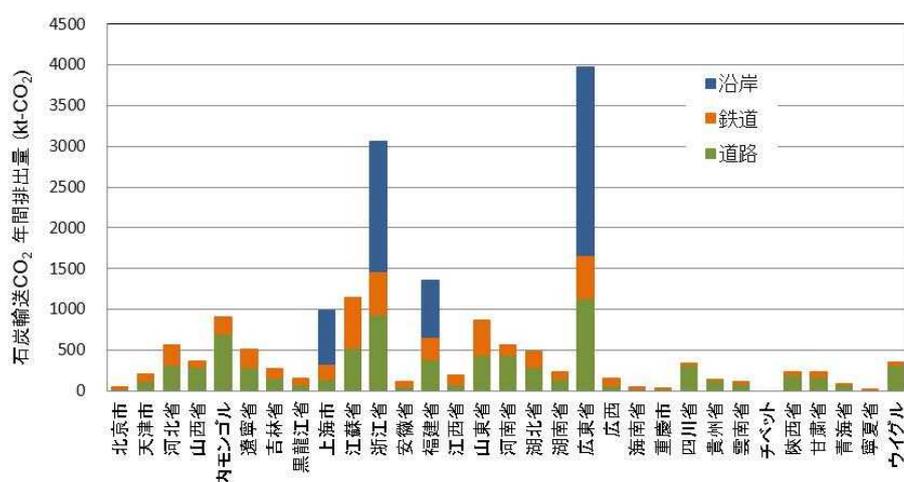
輸送コスト最小化によって最適化された石炭輸送のフローを表(1)-6に示す。省級別での移出・移入量の結果について、華北、東北、華東、華中、華南、西南、西北の7地域に分け、各地域間のフローをまとめている。これより石炭生産量は華北地方が他の地域に比べて最も多く、石炭消費量としては華東地方が最も多いことがわかる。そして、自地域を除く地域間移出入では、華北地域から華東地方への移出入量が最も大きい。このことから、中国での石炭の流れとして、石炭産地である内陸部の華北地方から、石炭消費地である沿岸部の華東地方への石炭輸送が活発であることが伺える。また、石炭産出量が乏しく消費量が比較的大きい華南地区は、広東省における消費量が大いだが自地域では石炭がほとんど採掘されない。そのため、沿岸輸送や鉄道輸送を用いて、東北地方を除く全ての地域から石炭を移入してきている。特に華北地方からは距離的には離れているが、輸送コストの安い沿岸輸送を用いて、海上ルートから石炭を運んでいるため、輸送量が大きくなっている。

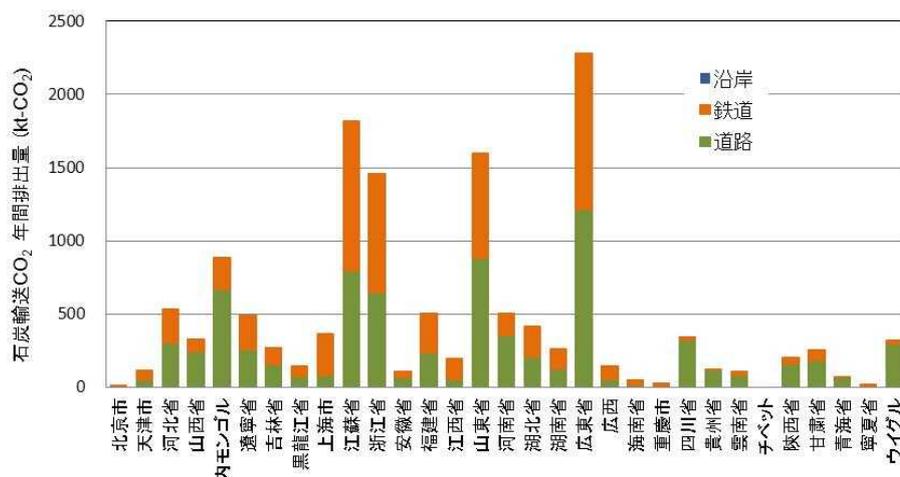
表(1)-6 輸送コスト最小化による最適化後の地域間石炭フロー（万トン）

移入 移出	華北	東北	華東	華中	華南	西南	西北
華北	28881	3547	20635	3500	3744	0	1059
東北	314	9509	0	0	0	0	0
華東	0	0	16431	30	1815	0	0
華中	0	0	5274	7726	1084	0	0
華南	0	0	0	0	225	0	0
西南	0	0	0	172	2267	11209	0
西北	2003	0	2788	3617	1034	0	9612

2) 石炭輸送最適化によるCO<sub>2</sub>排出量・排出原単位

輸送コスト最小化による輸送最適化において、各消費地における石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量を図(1)-12に示す。沿岸地域である上海、江蘇省、浙江省、福建省および広東省の排出量が大きくなっている。特に浙江省と広東省は沿岸輸送からの排出量が総排出量を大きく押し上げる結果となった。また輸送手段別では道路輸送からの排出量が大きく、すべての地域で一定の割合を占めている。図(1)-13に輸送CO<sub>2</sub>最小化における石炭輸送最適化での消費地域別石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量産出結果を示す。CO<sub>2</sub>最小化ではコスト最小化で選択されていた沿岸輸送が選択されない。これは沿岸輸送のCO<sub>2</sub>排出原単位が鉄道輸送よりも高く、輸送ルートにおいて鉄道輸送が沿岸輸送を代替できることに起因する。コスト最小化とCO<sub>2</sub>最小化の輸送CO<sub>2</sub>排出量を比較すると、南部沿岸地域で沿岸輸送分が他の輸送手段に振り分けられたことでCO<sub>2</sub>排出量が減少している。しかし江蘇省、山東省などの上海市より北に位置する沿岸地域では、これまで南部沿岸地域が北部の石炭を沿岸輸送で輸送していたことにより直接的には南部沿岸地域との石炭の競争的關係になかったが、沿岸輸送が選択されなくなったことで周辺地域の石炭を奪い合う関係になったため、南部沿岸地域と同水準までCO<sub>2</sub>排出量が高くなる結果が得られた。

図(1)-12 消費地域別石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量

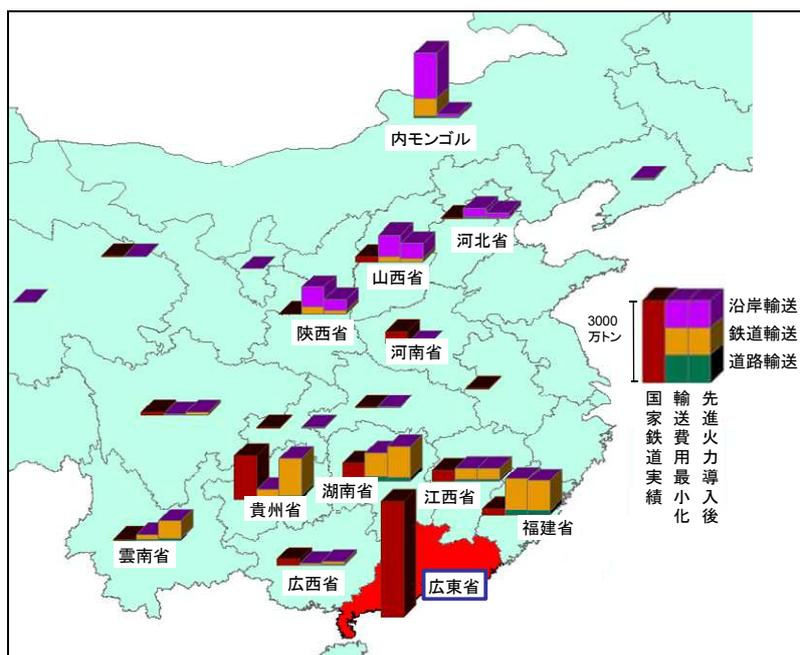


図(1)-13 輸送CO<sub>2</sub>最小最適化による消費地域別石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量

### 3) ケース分析例：先進火力発電技術（USC）による既存火力代替

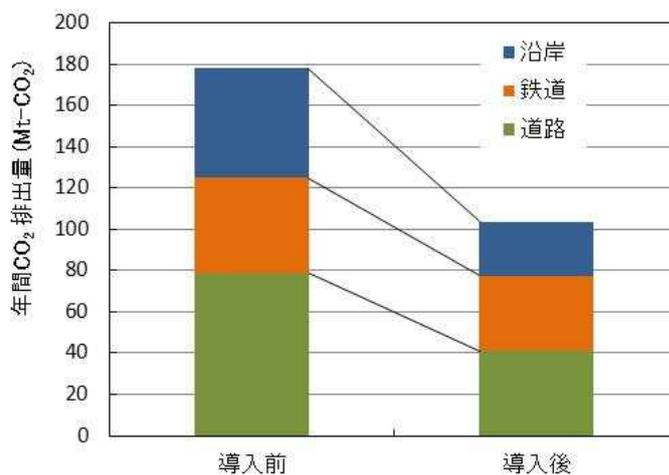
既存火力発電所を先進火力発電技術であるUSC（効率45%）で代替し、効率向上によって発電向けの石炭需要が減少した場合の石炭輸送について検討した。石炭火力発電所の年間発電量を変えずに、すべての石炭火力がUSCに置き換わった場合、発電向けの石炭需要が136,474万tから114,014万tに16.5%減少させるポテンシャルがある。特に既存火力発電所の効率が他地域に比べて低い地域では大幅な需要減少が見込まれる。発電向けに消費できる石炭産出量を不変として、消費量が減少した場合、石炭輸送フローが導入前とどう変わるか輸送コスト最小化による輸送最適化で比較を行った。

図(1)-14は結果の一例として広東省で消費される発電向けの石炭がどの行政区からどの輸送方法を経て運ばれてくるかを示している。輸送は複数の輸送方法の組み合わせで行われるため、グラフにはその輸送方法で運ばれた距離の割合が示される。比較のため国家鉄道による2010年地域間石炭輸送量の実績<sup>9)</sup>を併記した。「輸送費用最小化」においては多くの石炭が北部の内モンゴルや山西省から沿岸輸送を使って輸送される。道路輸送は費用が高いため、最寄りの鉄道、港までの輸送手段として使われる。「国家鉄道輸送実績」では広東省の域内輸送量が大きいが、この量は省内で産出されたものではなく、沿岸輸送によって北部地方から輸送されたもの、もしくは輸入炭が鉄道に積み替えられて輸送されたものと考えられる。「先進火力導入後」については、導入によって中国全体の発電向け石炭需要量が減少した場合の輸送費用最小化による最適化の結果である。導入前の「輸送費用最小化」と比較すると沿岸輸送によって北部から輸送される石炭量が減り、貴州省や湖南省などの近隣地域からの鉄道輸送が増える。先進火力導入により中国全体で発電向けに使われる石炭減少し、特に南部での石炭供給に余裕ができる事に起因する。



図(1)-14 輸送費用最小化による石炭フロー分析例（広東省への輸送量）

先進火力導入前後における石炭輸送からのCO<sub>2</sub>排出量を図(1)-15に示す。先進火力導入で石炭需要が16.5%減少することにより、石炭の輸送量が減少し、かつ石炭がより近い産地から輸送できるため輸送距離も減少する。その結果CO<sub>2</sub>排出量が導入前後で41.7%減少した。特に沿岸輸送と道路輸送の削減割合が大きく、それぞれおよそ2分の1になった。鉄道輸送のCO<sub>2</sub>排出量が変化しなかったのは、より近隣からの輸送が増え、鉄道輸送量が増加したためと考えられる。



図(1)-15 輸送CO<sub>2</sub>総排出量（中国全体）

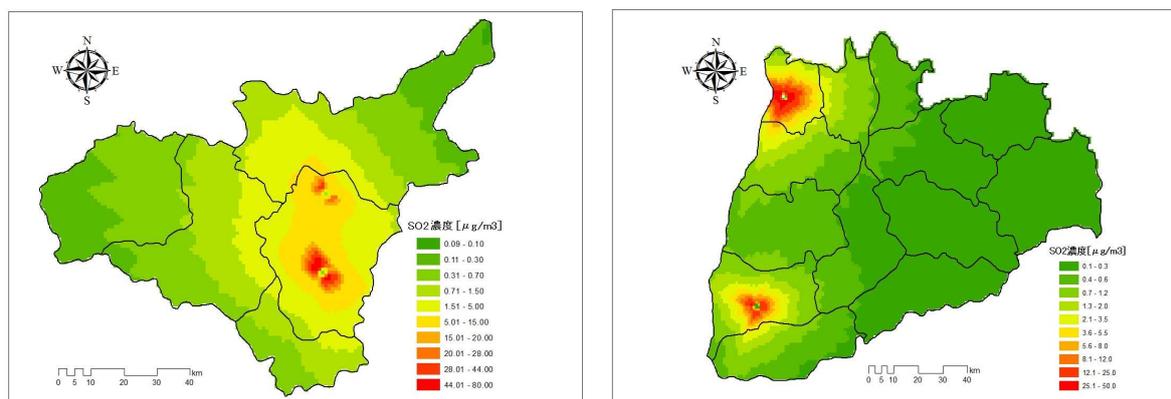
先進火力導入によるCO<sub>2</sub>削減は発電効率の高さに起因する石炭消費量減少による削減のみならず、石炭輸送からの削減効果が加わる。発電所運用におけるCO<sub>2</sub>削減量が大きな割合を占める一方で、石炭輸送からのCO<sub>2</sub>削減量は運用における削減量に対して17.4%となり、無視できない削減量となる。輸送最適化評価をエネルギーチェーン多層評価に組み合わせることで先進火力導入による石炭輸

送からのCO<sub>2</sub>削減量をより正確に評価できる。

## (2) 都市域を対象とした先進火力発電技術導入と外部性評価

都市域を対象とした先進火力発電技術の導入評価結果として、山西省太原市・運城市におけるSO<sub>x</sub>曝露量のシミュレーション結果を主に記す。脱硫なしケースにおける太原市および運城市での年間累積SO<sub>2</sub>濃度分布推算結果を図(1)-16に示す。太原市では年平均濃度の最大値は78.9 μg/m<sup>3</sup>であり、世界保健機構（WHO）の定める年間SO<sub>2</sub>濃度基準<sup>26)</sup>の50 μg/m<sup>3</sup>と比較すると、基準を上回る濃度の地域が存在する可能性が示された。全セルでの平均値は2.25 μg/m<sup>3</sup>となった。運城市における脱硫なしケースでの年平均濃度最大値は49.0 μg/m<sup>3</sup>となり、太原市に比べて低い値となった。これは、太原市と比較して運城市の平均風速が高く、風向の偏りが少ないことに起因する。WHO基準である50 μg/m<sup>3</sup>を超えるセルは無く、全セルでの平均SO<sub>2</sub>濃度は0.87 μg/m<sup>3</sup>である。

太原市における脱硫ありケースでは、年平均濃度の最大値は21.8 μg/m<sup>3</sup>へ低下し脱硫なしのケースと比較し72%の削減となった。この値はWHO基準値を大きく下回り、中国の年平均SO<sub>2</sub>濃度制限値の一級基準である20 μg/m<sup>3</sup>に近い値となる。全セルでの平均値は0.50 μg/m<sup>3</sup>であった。運城市における脱硫ありケースでの年平均SO<sub>2</sub>濃度は、最大値15.1 μg/m<sup>3</sup>であり全セルでの平均値は0.21 μg/m<sup>3</sup>であった。脱硫なしケースと比較すると69.2%削減となり、脱硫を行うことにより中国第一級基準20 μg/m<sup>3</sup>を下回る結果が得られている。

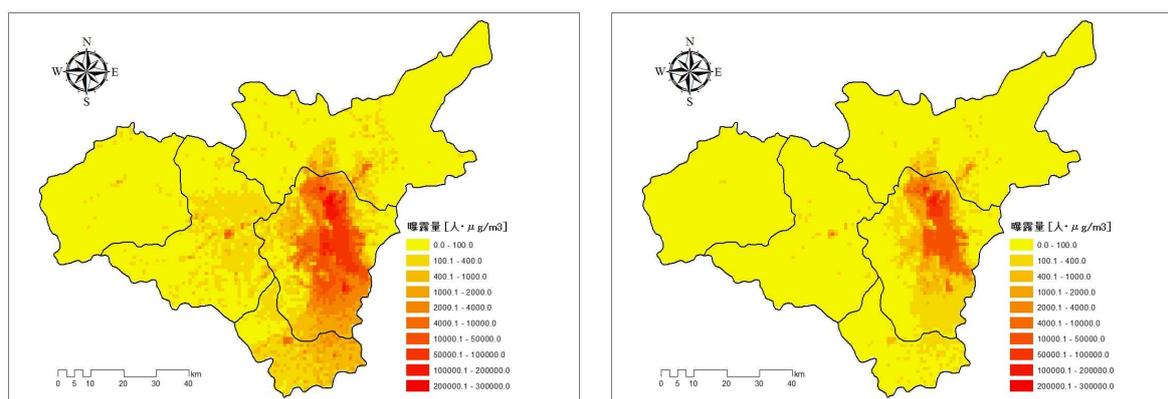


図(1)-16 太原市（左）および運城市（右）における  
SO<sub>2</sub>濃度分布評価結果（脱硫なしケース）

次に、SO<sub>2</sub>濃度分布評価結果を用い人口分布を考慮に入れた、曝露量評価シミュレーション結果について述べる。図(1)-17(a)に脱硫を行わないケースでの曝露量評価の結果を示す。最大値は295.2人・mg/m<sup>3</sup>であり、全セルでの平均曝露量は2794人・μg/m<sup>3</sup>となった。太原市においては、1000MWを超える大規模発電所である発電所1以上に、発電所1と比較して設備容量は小さいが人口密集地の近くに位置している発電所2から排出されるSO<sub>2</sub>が、近傍のセルに対して大きな影響を与えている。風向に関しても発電所2では人口密集地に向かう頻度が高く、風況も発電所2が発電所1以上に影響を与えている要因の一部であると考えられる。図(1)-17(b)に脱硫を行ったケースでの曝露量評価結果を示す。最大値は172.2人・mg/m<sup>3</sup>であり、脱硫なしのケースと比較して、約4割の減少が行っている結果となった。脱硫なしケースでは発電所2が大きな影響を与えている結果となったが、

脱硫ありケースでは発電所2には簡易脱硫を適応しているため、脱硫における効果がSO<sub>2</sub>濃度分布の評価結果と比べて、低くなったと考えられる。全セルでの平均曝露量は820.3人・μg/m<sup>3</sup>であった。

運城市における曝露量評価結果は最大248.4・mg/m<sup>3</sup>であり、全セルでの平均曝露量は469.3人・μg/m<sup>3</sup>となった。運城市は太原市とは異なり、大規模な人口密集地が存在せず、小規模な密集地が点在している形である。1000MWを超える大規模発電所である発電所1の周辺には小規模な人口密集地が存在し、その密集地における曝露量が大きいという結果となった。しかし、太原市と比較すると、発電所の設備容量は大きい、人口密集地の規模が極めて小さく発電所からの距離も遠いため太原市の場合より影響が小さくなったと考えられる。発電所2は、大きな溜池の縁に建設されているため、発電所南側の曝露量が殆ど無く、影響が小さくなる結果となった。風向の影響に関しては、SO<sub>2</sub>濃度分布の場合と同じく、太原市と比較して運城市では平均風速が高く、風向の偏りが少ないために濃度が高い地点が少なく、影響が小さくなっていると考えられる。脱硫ありケースではSO<sub>2</sub>曝露量の最大値は77.2人・mg/m<sup>3</sup>であり、脱硫によって約7割の削減効果が得られている。運城市の場合では、大規模発電所である発電所1が大きな影響を与えていたため、脱硫ありケースで高度脱硫を行うことで大きく曝露量を削減できたと考えられる。全セルでの平均曝露量は88.9人・μg/m<sup>3</sup>であった。



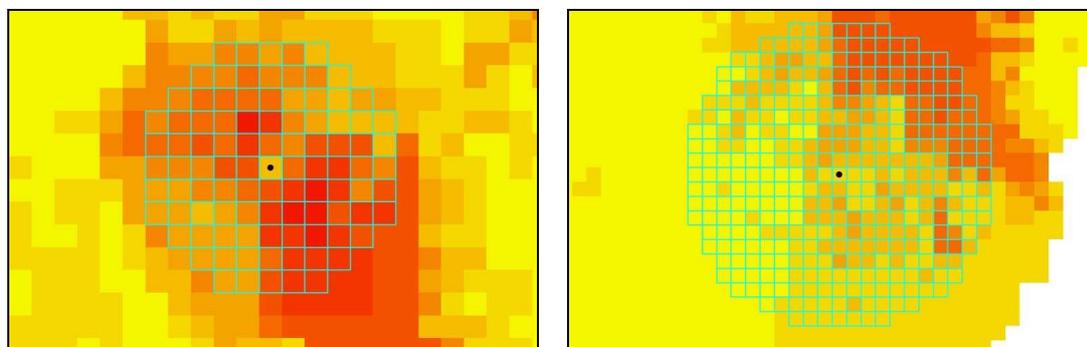
(a) 脱硫なしケース

(b) 脱硫ありケース

図(1)-17 太原市における曝露量評価結果

脱硫ありケースでの太原市の2ヶ所の発電所について、発電所を中心として半径5km 近傍と半径10km 近傍での総SO<sub>2</sub>曝露量について比較を行った。図(1)-18に前述の曝露量分布と選択近傍セルを示す。発電所が存在するセルを中心として、円形に選択を行った。半径5km近傍での選択セル数は97セル、半径10km近傍での選択セル数は357セルとした。発電所1の半径5km近傍での総曝露量は63.5人・mg/m<sup>3</sup>となり、発電所2の半径5km近傍では2336.4人・mg/m<sup>3</sup>であった。半径5km近傍では、設備容量が大きな発電所1より、設備容量が比較的小さな発電所2周辺の総曝露量が約37倍大きいことが分かった。これは、発電所2に対しては簡易脱硫を用いると仮定していること、発電所2の方が人口密集地に近いことが要因と考えられる。評価範囲を半径10km 近傍に拡大した場合においても、発電所1 近傍では772.0人・mg/m<sup>3</sup>、発電所2 近傍では3718.2人・mg/m<sup>3</sup>となり、発電所2周辺の方が約4.8倍大きな値となった。半径10kmにエリアを拡大した場合においても依然として発電所2か

らの影響が大きいことが示された。こちらの場合でも、設備容量では発電所1のほうが大きいですが、設備容量の小さな発電所2では、簡易脱硫の使用と、人口密集地に近いことが要因となって、発電所2が与える影響が大きくなったと考えられる。

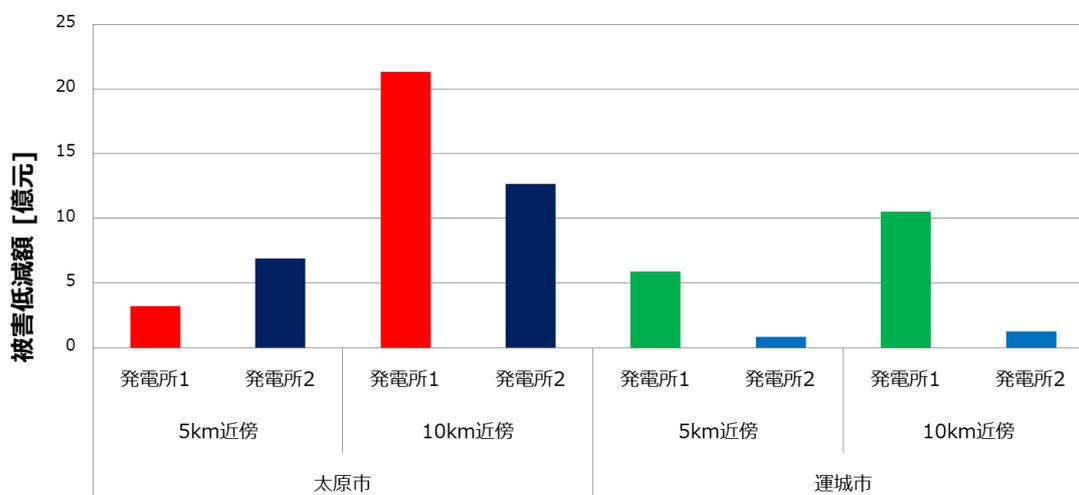


(a) 5km近傍セル

(b) 10km近傍セル

図(1)-18 太原市における発電所近傍のセル

脱硫装置の効果を定量的に評価するために、脱硫ありケースにおける曝露量評価結果を用いて被害低減額 [億元] の算出を行った。脱硫ありケースにおいて、発電所1と発電所2のそれぞれ半径5km近傍と半径10km近傍のセルに対して被害低減想定額を求めた。結果を図(1)-19に示す。太原市における脱硫装置導入による削減額は、半径5km近傍においては発電所1で3.2億元、発電所2で6.9億元の削減額が得られた。半径5km近傍では、発電所2に簡易脱硫装置を導入したケースの方が被害低減額で3.7億元高い値となった。範囲を、半径10km近傍に拡大した場合には、発電所1に高度脱硫を導入した効果の方が発電所2に導入した場合の約1.7倍となり、発電所1における脱硫効果が発電所2の被害低減額を上回る結果となった。運城市では発電所2の削減額が半径5 km近傍で0.8億元、半径10km近傍では1.3億元となり、発電所1の削減額と比較して削減効果が低い結果となった。発電所2は、人口密集地から比較的距離があり、南側には溜池が存在するなどの立地条件から被害額



図(1)-19 太原市・運城市における被害低減額

自体が他の発電所と比べて少ない。また、簡易脱硫を用いているなどの条件から、削減効果も低くなったと考えられる。

脱硫装置導入コストの評価結果は、半径5km近傍、半径10km近傍のどちらの場合においても、脱硫装置の設置及び運転コストを大きく上回る被害削減想定額を示した。半径5km近傍では、発電所1に高度脱硫装置を導入するコストが1.1億元であるのに対し、脱硫における被害削減想定額は3.2億元であり、導入コストを差し引いても2.2億元の効果があるという結果になった。発電所2に関しても、導入コストが0.3億元、被害削減想定額が6.9億元と、6.6億元の効果がある。

### (3) 再生可能エネルギー導入評価

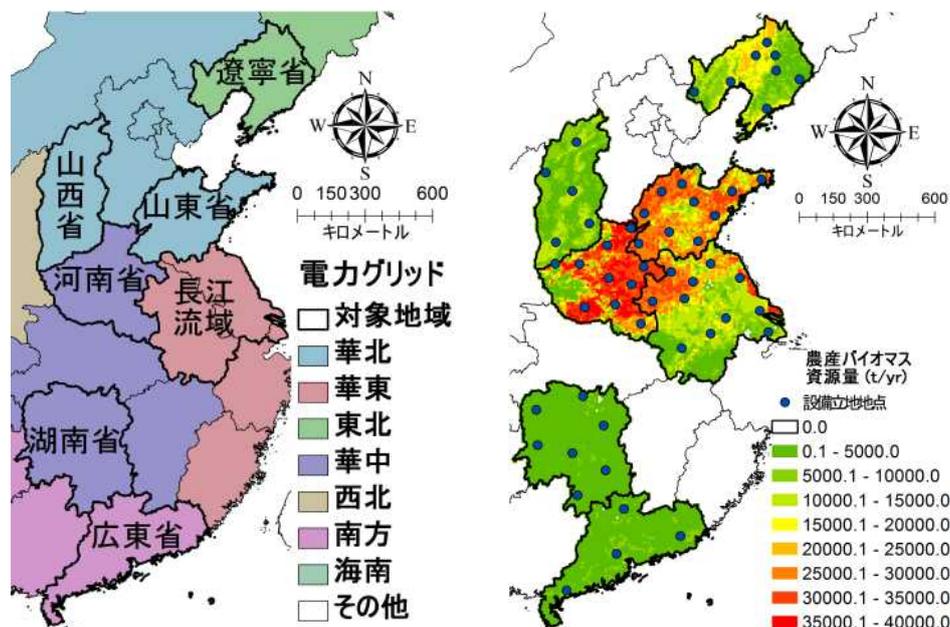
#### 1) 地域バイオマス発電の輸送費用最小化による導入評価

地域バイオマス発電の輸送費用最小化による導入評価結果の一例として、対象地域の推計された資源量、および総発電量を表(1)-7に、農産バイオマス資源量の分布・設備立地地点を図(1)-20に示す。麦やトウモロコシの残渣が多く賦存する河南省、山東省では、バイオマスによる発電量の省内電力消費量に対する割合がそれぞれ23.0%、15.2%になり、バイオマス資源による発電ポテンシャルが非常に高かった。設備設置地点数が最も多かった長江下流域に着目すると、地域内の北部にバイオマスが多く賦存しており、大規模な発電事業を行うために十分な資源量が配分されていることが明らかとなった。

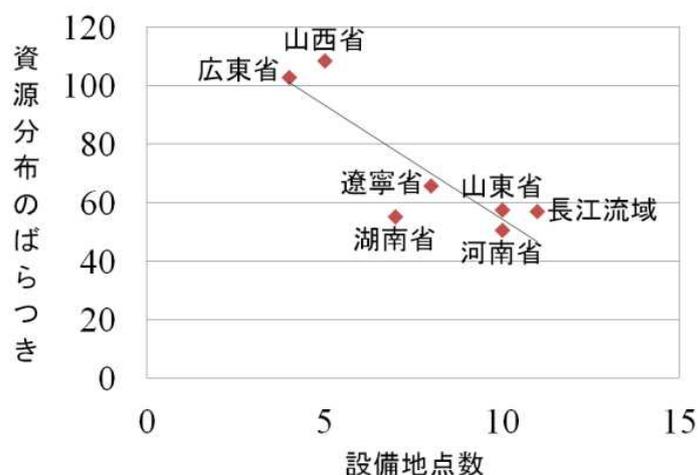
表(1)-7 対象地域の資源量・総発電量

	資源量 [million t/yr]	総発電量 [million kWh/yr]	電力消費量に占める 総発電量の割合[%]
遼寧省	16.2	16934.0	12.0
山西省	10.3	10734.0	8.2
山東省	39.7	71538.5	15.2
長江下流域	35.9	37562.9	7.3
河南省	46.0	48133.5	23.0
湖南省	4.3	4500.0	4.0
広東省	4.5	4718.8	1.4

続いて、資源分布の地域性と設備設置地点数の関係について検討するため、資源量のばらつきを示す標準偏差と、費用最小な場合の設備立地地点数を比較した。まず、資源量によって加重平均されたメッシュの地理座標を、資源分布の地理的中心として定め、各メッシュにおける地理的中心からの距離を求めた。そして、地理的中心からの距離に、正規化された資源量を乗じた値の標準偏差を算出し、メッシュ毎に算出された値の標準偏差を、資源分布のばらつきを表す値とした。標準偏差と設備設置地点数をプロットした、資源分布の地域性と設備設置地点数の関係を図(1)-21に示す。資源量のばらつきと設備設置地点数には負の相関が見られる。資源分布のばらつきが大きい場合、最適値以上に設備地点を増加させる事は、重み付きの総輸送距離は減少するものの、減少分はばらつきが少ない場合に比べて少なくなる。そのため、資源分布のばらつきが少ない場合は、より小規模、分散した処理形態が望ましく、反対に資源分布のばらつきが多い場合は、より大規模、かつ集中した処理形態が望ましいと考えられる。



図(1)-20 対象地域と資源量の分布・設備立地地点



図(1)-21 資源分布の地域性と設備設置地点数の関係

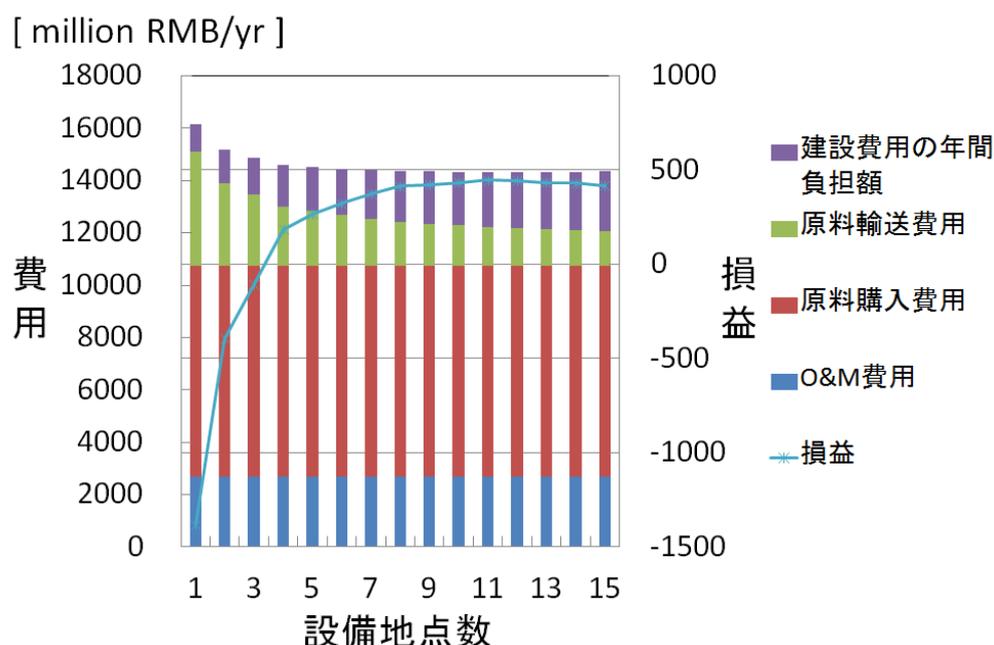
各省における費用最小な場合の生産地点数、損益を表(1)-8に示す。長江下流域は3省を含んだ地域であるため、売電価格を3省の平均価格とした。設備設置地点数は、河南省、山東省のようにバイオマス資源が多く賦存する地域に多くなった。損益は、設備設置地点数やバイオマス資源量に関係なく、地域における売電価格に最も依存した。対象地域の中では、長江下流域、および広東省において売電価格が高く、利益が得られることが明らかになった。本研究では農産バイオマスの潜在的利用可能量の全てを対象としており、損失が発生した省では、資源をより多く利用するに従い、損失を生むバイオマス事業が発生したと考えられる。

利益が最も多かった長江下流域における設備数毎の収支結果を図(1)-22に示す。各地点に配分されたバイオマス資源量は最大発電効率30%を保つために十分な量であり、設備数に関わらず売電

収入は222億元で一定していた。設備設置地点が11地点の場合に損益が447百万元で最も高い利益になった。原料の購入費用が、費用全体の56.2%と大部分を占めており、事業の収益性を高めるためには、原料の購入・加工に掛かる費用を低減する必要がある。

表(1)-8 経済性分析結果

	設備設置地点	売電価格 <sup>1)</sup> [元/MWh]	損益 [百万元/yr]
遼寧省	8	522.31	-1330
山西省	5	421.52	-1271
山東省	10	492.60	-1833
長江下流域	11	589.97	447
河南省	7	431.51	-4063
湖南省	8	510.55	-389
広東省	4	689.68	200



図(1)-22 長江下流域における発電事業の収支結果

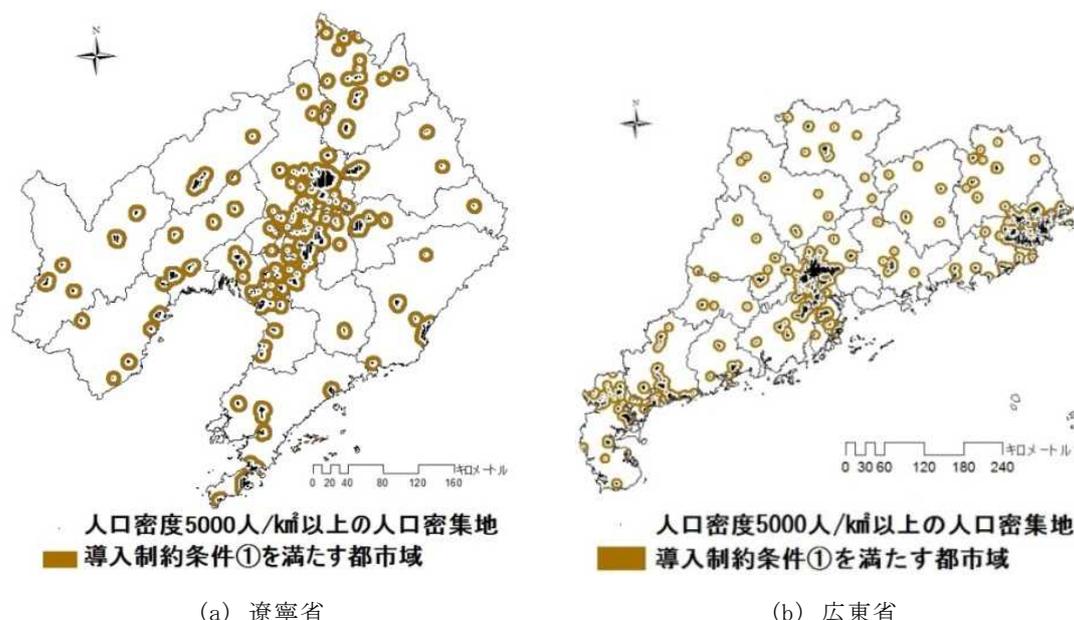
## 2) 都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価

評価対象地域の設定基準を日射量および電力需要が高いと考えられる中国沿岸域とした。設定基準である日射量を明らかにするためにGISを用いて日射量データから中国全土の日射量分布図を作成した。沿岸域で比較的多い日射量となったのは東北部、少ない日射量となったのは南方部である。そこで、沿岸域に位置する省の中で日射量の多い遼寧省を本研究の評価対象にした。また、日射量が遼寧省よりも少ない広東省も評価対象とした。

省内において地級市間に日射量の差があり、遼寧省の中で最高の日射量を示したのは鉄嶺市で、1,922 kWh/(m<sup>2</sup>・年)となった。大連市が最低の1,691 kWh/(m<sup>2</sup>・年)となった。広東省の日射量は清遠市が最低の1,538 kWh/(m<sup>2</sup>・年)であり、深圳市が最高の1,673 kWh/(m<sup>2</sup>・年)である。遼寧省全土

における日射量の平均値は1854 kWh/(m<sup>2</sup>・年)、広東省全土における日射量の平均値は1627 kWh/(m<sup>2</sup>・年)となり、約1割の日射量の差があることが示された。

遼寧省および広東省における導入制約条件①（人口密集地から4km以上8km以内）を満たす都市域の位置と分布を図(1)-23(a)および(b)に示す。(a)は遼寧省、(b)は広東省の分布を示す。遼寧省において、その都市域の多くは人口密集地の多い省中央部に存在しており、瀋陽市が最大の2,764km<sup>2</sup>となった。二番目に鉄嶺市において導入制約条件①を満たす都市域の面積が大きくなった。これは、人口密集地が分散していることに起因していると考えられる。一方、人口密集地が少なく、かつ分散していない阜新市では最小の523km<sup>2</sup>となった。広東省においては人口密集地が省中央部、東部に集中していることが図(1)-23(b)より示された。湛江市においては人口密集地が多くあり、分散しているため導入制約条件①を満たす都市域が最も多い3,238km<sup>2</sup>となった。しかし、東莞市および深圳市においては5,000人/km<sup>2</sup>以上の人口密集地がデータ上なかったため導入制約条件①を満たす都市域は算出されなかった。省全体でみると、人口密集地が多く、かつ省全土の面積が大きい広東省において導入制約条件①を満たす都市域の面積が26,029km<sup>2</sup>となり、遼寧省の17,321km<sup>2</sup>に比べ約1.5倍の大きさとなることが示された。

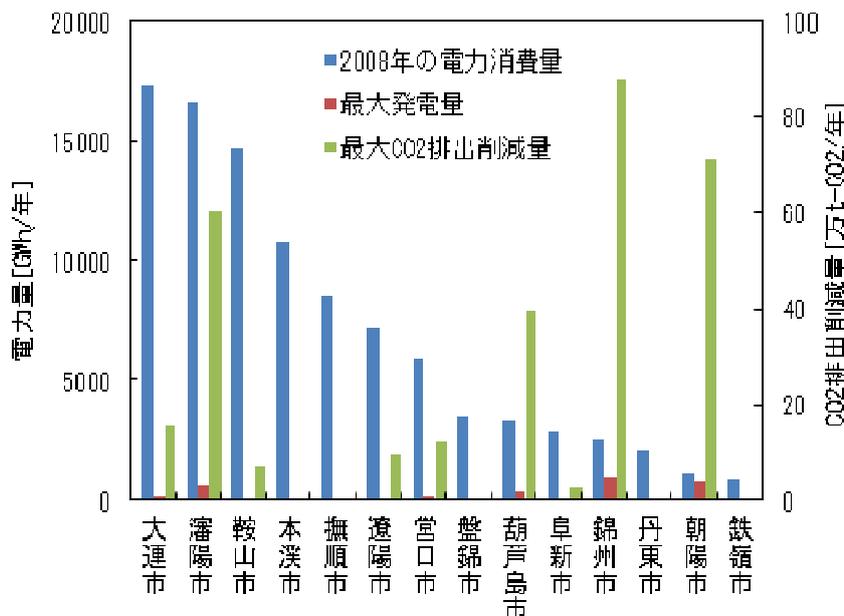


図(1)-23 導入制約条件①を満たす都市域の位置と分布

各地級市における導入制約条件①～③の全てを満たす導入可能面積の算出結果は、遼寧省においては錦州市が最大の導入可能面積を示し36.6km<sup>2</sup>となった。その他、瀋陽市、葫蘆島市、朝陽市は他の地級市と比較して導入可能面積が多く存在することが示された。これは、草地・未利用地が多く存在するためだと考えられる。一方、盤錦市の導入制約条件①を満たす都市域は傾斜勾配1%以下を満たすが、草地・未利用地は存在しなかったため導入可能面積はなかった。広東省において揭陽市が最大の導入可能面積を示し、18.9km<sup>2</sup>となった。深圳市、東莞市、仏山市、中山市、江門市、清遠市、珠海市では導入可能面積は算出されなかった。これは、仏山市、中山市、江門市では傾斜勾配1%以下を満たす土地は多いが、草地・未利用地の面積がないためである。清遠市、

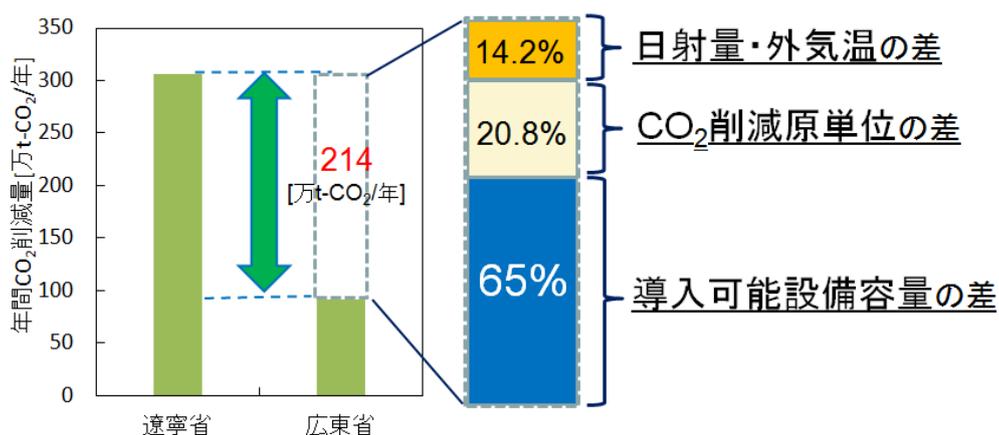
珠海市は傾斜勾配1%以下の土地が少なく、さらに草地・未利用地の面積がないためである。省全体でみると遼寧省における導入可能面積は144.7km<sup>2</sup>となり、広東省の77.9km<sup>2</sup>に比べ約1.8倍となった。この理由としては、どの地級市においても導入制約条件のうち制約条件③(草地・未利用地への導入制約)が非常に大きな制約条件となっているため、より多くの草地・未利用地の面積を有す遼寧省において導入可能面積が大きくなったと考えられる。

以上の算出手法に基づいた都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価結果の一例として、図(1)-24に遼寧省における各地級市の2008年における電力消費量と、20MW以上のシステムの導入想定ケースにおける最大導入可能設備容量(導入可能割合100%)での最大発電量および最大CO<sub>2</sub>排出削減量を示す。20MWシステムの発電量が大きい朝陽市、瀋陽市、電力消費量が比較的大きい錦州市においては導入可能設備容量も多いため、太陽光発電の最大発電量が大きく、結果として最大CO<sub>2</sub>排出削減量の値も大きくなった。また電力消費量の多い地級市より少ない地級市の方が、最大発電量が比較的高まる傾向にあることが分かった。また、最大導入可能設備容量は遼寧省で2,581MW、広東省で1,131MW、最大発電量は遼寧省で3,174GWh/年、広東省で1,162GWh/年、最大CO<sub>2</sub>排出削減量は遼寧省で305.8万t-CO<sub>2</sub>/年、広東省で91.8万t-CO<sub>2</sub>/年となった。



図(1)-24 遼寧省地級市における電力消費量と最大発電量、最大CO<sub>2</sub>排出削減量

遼寧省と広東省での最大CO<sub>2</sub>削減量の差の要因分析として、図(1)-25に最大導入可能設備容量の規模の内訳を示す。太陽光発電導入設備可能容量の差の要因が65%、日射量・外気温要因が14.2%、地域CO<sub>2</sub>削減原単位の差の要因が20.8%を占めることが明らかになり、導入設備可能容量の差が最も大きく寄与していることが示された。日射量・外気温の差よりCO<sub>2</sub>削減原単位の差の方が大きく寄与していることから、日射量が低い地域であっても、CO<sub>2</sub>削減原単位が大きければ、太陽光発電システムの導入により大きなCO<sub>2</sub>排出削減が見込まれる。

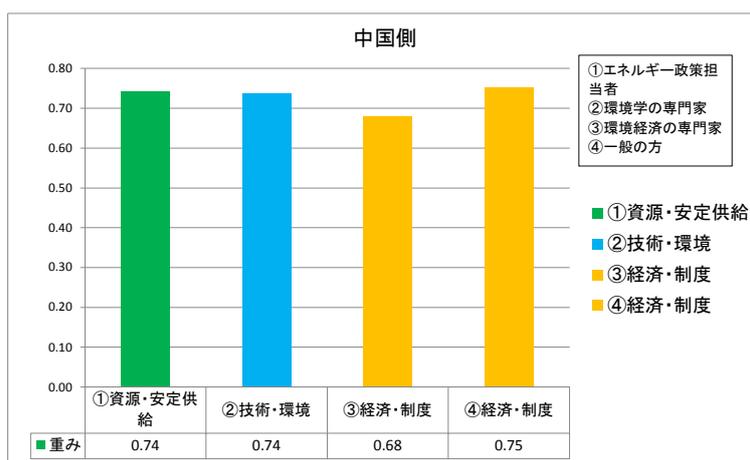


図(1)-25 遼寧省と広東省における最大CO<sub>2</sub>削減量の差を与える各要因の寄与分

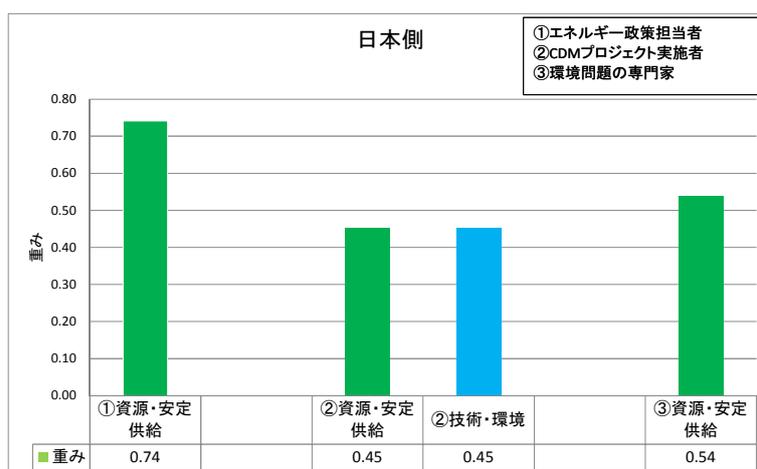
#### (4) 再生可能エネルギー導入における意思決定分析

##### 1) バイオマス技術導入における意思決定分析

第一階層の評価項目における分析では、バイオマス事業の実施国である中国側の有識者のうち、エネルギー政策担当者は資源・安定供給を、環境学の専門家は技術・環境を重視する結果であった。環境・経済の専門家及び一般の方は経済性を重視する結果となった。中国側の有識者は各自専門の立場を強く重視する意思決定となった。一方、CDM投資側である日本の有識者による意思決定の分析結果においては、CDMプロジェクト実施者が資源・安定供給及び、技術・環境の両項目を重視するものの、全有識者で資源・安定供給を重視する結果となった。CDM投資側はバイオマス事業を行う際、対象国の経済性及び技術性よりも、資源性を最重要視する傾向があると考えられる。図(1)-26に中国側有識者の第一階層の分析結果を、図(1)-27に日本の有識者による意思決定の分析結果を示す。



図(1)-26 第一階層の分析結果 (中国側)



図(1)-27 第一階層の意思決定の結果（日本側）

これら3つの評価項目の重要度を分析した上で、SWOT表を用いて整理した各項目の要素について重要度の分析を行った。その結果を表(1)-9に示す。中国側の有識者は、立場ごとにそれぞれ異なる要素を重要視した。黒竜江省においてのみ、全有識者が正の要因であるStrengthとOpportunityを重要視する結果であった。一方日本側の有識者は、CDMプロジェクト実施者が黒竜江省の地理的要因を考慮して、Weaknessの季節性を重視した以外では、全省において正の要因であるStrengthとOpportunityを重要視した。

表(1)-9 資源・安定供給

		黒竜江省	山東省	陝西省	四川省
中国側	エネルギー環境政策担当者	S	T	T	S
	環境学の専門家	O	O	O	O
	環境経済の専門家	O	O	T	T
	一般の方	S	S	S	S
日本側	エネルギー環境政策担当者	S	SWO	O	O
	CDMプロジェクト実施者	W	S	O	O
	環境問題の専門家	S	S	S	S

※ S:豊富な資源量 W:季節性 O:補助政策 T:不確実性

経済・制度項目の結果を表(1)-10に示す。この項目では、日中のエネルギー環境政策担当者は異なる要素を重要視した。中国側は山東省及び陝西省ではWeaknessを重要視したのに対し、日本側はOpportunityを重視した。他の有識者の結果からも、中国側はバイオマス事業実施時のマイナス要因である、Weakness及びThreatを重要視する傾向があるのに対し、日本側はOpportunityを重視する傾向がみられた。このことから、中国側はバイオマス事業運営時における経済性を重視しWeakness及びThreatを選択する傾向があり、日本側は事業が将来的に周辺に及ぼす経済性を重視し、Opportunityを選択すると考えられる。次に、技術・環境項目の結果を表(1)-11に示す。この項目の要素には、OpportunityとしてCDMプロジェクトを含む外国との技術協力があるため、CDMを実施する日本側は全員Opportunityを重視する結果となった。一方中国側は、有識者の立場ごとに各地域で重要視する要素が大きく異なる結果となり、Weaknessであるバイオマス技術の高いコストを多く重視する結果であったと考えられる。このことから、中国は自国のプロジェクトまたは、

CDMプロジェクトに関わらず、バイオマス技術の高いコストを重要視し、日本は投資国でありながらも、コストよりCDMプロジェクトを通じた技術協力を重視していると考えられる。

表(1)-10 経済・制度

		黒竜江省	山東省	陝西省	四川省
中国側	エネルギー環境政策担当者	O	W	W	S
	環境学の専門家	T	W	T	O
	環境経済の専門家	SWO	SWO	SWO	SWO
	一般の方	W	W	W	W
日本側	エネルギー環境政策担当者	O	O	O	SWO
	CDMプロジェクト実施者	W	S	O	O
	環境問題の専門家	T	W	T	O

※ S: 電力需要 W: 他電源競合 O: 経済発展 T: 制度的障害

表(1)-11 技術・環境

		黒竜江省	山東省	陝西省	四川省
中国側	エネルギー環境政策担当者	S	W	W	S
	環境学の専門家	W	S	S	W
	環境経済の専門家	W	W	W	W
	一般の方	T	T	T	T
日本側	エネルギー環境政策担当者	O	O	O	SWO
	CDMプロジェクト実施者	O	O	O	O
	環境問題の専門家	O	O	O	O

※ S: 構成改善 W: 技術コスト O: 技術協力 T: 国産化の難度

三項目の分析を通して、中国側の有識者は、自身専門の立場またはバイオマス事業の持つWeaknessとThreatを重視する傾向がある。一方日本側は、立場に関わらずプラスの要因、特にOpportunityを重視する傾向がある。中国側は事業をとりまく、現在ある問題を重視し、日本側は事業の将来性を期待する意思決定を行うことが示唆された。

上記二階層の重要度分析及び重要度決定法を基に、最終的なバイオマス種導入のポテンシャル評価を表(1)-12に示す。日中両国のエネルギー環境政策担当者及び、日本側のCDMプロジェクト実施者は全地域において木質バイオマス種導入の結果となった。また日中両国の環境分野の専門家は、黒竜江省及び山東省で、農産バイオマス種、陝西省及び四川省では木質バイオマス種を導入する結果となった。この結果からバイオマス事業に携わる専門家は資源量よりも安定供給を重視したバイオマス種を選択し、環境分野の専門家は各地域の資源量を反映したバイオマス種を選択すると考えられる。

表(1)-12 バイオマス種導入のポテンシャル

		黒竜江省	山東省	陝西省	四川省
中国側	エネルギー環境政策担当者	木質	木質	木質	木質
	環境学の専門家	農産/木質	農産/木質	農産/木質	木質
	環境経済の専門家	農産	農産	木質	木質
	一般の方	農産	農産	農産/木質	木質
日本側	エネルギー環境政策担当者	木質	木質	木質	木質
	CDMプロジェクト実施者	木質	木質	木質	木質
	環境問題の専門家	農産	農産	木質	木質

以上の結果をまとめると、第一階層、及び第二階層の三項目において、中国側の有識者は、自身専門の立場またはバイオマス事業の持つWeaknessとThreat要素を重視する傾向がある。一方日本側は立場を問わず、プラスの要因、特にOpportunity要素を重視する傾向があった。中国側は事業をとりまく現存する問題を重視し、日本側は事業の将来性を期待する意思決定を行うと考えられる。最終的なバイオマス種導入のポテンシャル評価は、日中両国のエネルギー環境政策担当者及び、日本側のCDMプロジェクト実施者は全地域において木質バイオマス種導入の結果となった。また日中両国の環境分野の専門家は、黒竜江省及び山東省で、農産バイオマス種、陝西省及び四川省では木質バイオマス種を導入する結果となった。この結果からバイオマス事業に携わる専門家は資源量よりも安定供給を重視したバイオマス種を選択し、環境分野の専門家は各地域の資源量を反映したバイオマス種を選択することが明らかとなった。

## 2) 太陽光発電導入における意思決定分析

分析結果の一例として、山西省における各項目の重要度を表(1)-13に、総合重要度を表(1)-14に示す。山西省ではCDM案件の場合2名の専門家が導入に積極的で4名の専門家が導入に消極的であることが分析から得られた。中でもCDM評価者の総合重要度の値が-0.713、再生可能エネルギー導入の専門家が-0.647、中国のエネルギー環境の専門家が-0.613、と低い値となっていることから導入には消極的であると考えられる。その理由として「石炭火力などよりも発電コストが高い」、「電力系統が未整備の場所での導入は難しい」がそれぞれ最小で-0.560、-0.486となっておりこの要因を問題視していることが明らかとなった。また、3名の専門家が自主導入の場合導入に積極的であると回答した。環境の専門家が0.335、エネルギー環境政策担当者が0.109と高い値となっている。その理由として、「環境政策があると導入が進み易い」という要因と「日射量が多いと発電量が増える」の二つの項目を最も重視するという回答が高い値となっており、それぞれ最大の値が0.330、0.278となっていることから、この二つの要因が山西省において導入の強み・機会となっていることが明らかとなった。以上の結果の理由として、山西省は北部に位置するため石炭生産地に近いことから太陽光発電システムを導入するよりも石炭を使用した火力発電での発電コストが安いことがCDM案件の場合に導入に積極的でないと判断された理由であると考えられる。また、環境政策を整備することで導入が更に進むと考えられる。

表(1)-13 山西省の各項目の重要度

回答者		導入手法	a	b	c	d	e	f	g	h
クレジット 購入国	エネルギー環境政策担当者	CDM案件	<b>0.278</b>	0.013	-0.022	-0.035	0.004	0.004	-0.010	-0.001
		自主導入	<b>0.278</b>	0.066	-0.007	-0.175	0.026	0.001	-0.069	-0.010
	環境の専門家	CDM案件	0.008	0.010	-0.009	-0.013	0.008	0.066	<b>-0.114</b>	-0.023
		自主導入	0.071	0.069	-0.003	-0.067	0.071	<b>0.330</b>	-0.114	-0.023
	CDM評価者	CDM案件	0.010	0.013	-0.184	-0.026	0.005	0.025	-0.069	<b>-0.486</b>
		自主導入	0.001	0.066	-0.026	-0.004	0.001	0.004	-0.010	<b>-0.069</b>
ホスト国	中国のエネルギー環境の専門家	CDM案件	0.001	0.007	<b>-0.378</b>	-0.132	0.009	0.004	-0.006	-0.118
		自主導入	0.008	0.022	-0.076	-0.019	0.063	0.011	-0.028	<b>-0.118</b>
	環境経済の専門家	CDM案件	0.066	0.013	-0.036	-0.251	0.053	<b>0.373</b>	-0.023	-0.006
		自主導入	0.009	0.003	-0.007	-0.050	0.011	<b>0.075</b>	-0.023	-0.001
	再生可能エネルギー研究者	CDM案件	0.001	0.010	-0.076	<b>-0.560</b>	0.008	0.005	-0.018	-0.018
		自主導入	0.005	0.031	-0.015	-0.080	0.053	0.015	<b>-0.088</b>	-0.018

表(1)-14 山西省の総合重要度

	回答者	導入手法	S	W	O	T	総合重要度
クレジット 購入国	エネルギー環境政策担当者	CDM案件	<b>0.291</b>	-0.057	0.007	-0.011	<b>0.230</b>
		自主導入	<b>0.344</b>	-0.182	0.027	-0.079	<b>0.109</b>
	環境の専門家	CDM案件	0.018	-0.022	0.074	<b>-0.137</b>	-0.067
		自主導入	0.141	-0.070	<b>0.402</b>	-0.137	<b>0.335</b>
	CDM評価者	CDM案件	0.023	-0.210	0.030	<b>-0.556</b>	-0.713
		自主導入	0.068	-0.030	0.004	<b>-0.079</b>	-0.038
ホスト国	中国のエネルギー環境の専門家	CDM案件	0.008	<b>-0.510</b>	0.013	-0.124	-0.613
		自主導入	0.030	-0.094	0.074	<b>-0.146</b>	-0.137
	環境経済の専門家	CDM案件	0.079	-0.287	<b>0.427</b>	-0.029	<b>0.190</b>
		自主導入	0.012	-0.057	<b>0.085</b>	-0.024	<b>0.016</b>
	再生可能エネルギー研究者	CDM案件	0.011	<b>-0.636</b>	0.013	-0.035	-0.647
		自主導入	0.036	-0.095	0.069	<b>-0.106</b>	-0.096

四川省では、CDM案件の場合、1名の専門家が導入に積極的である一方で、5名の専門家が導入に消極的であることが明示された。総合重要度は、CDM評価者が-0.723、中国のエネルギー環境の専門家が-0.621、再生可能エネルギー導入の専門家が-0.529、と低い値となり、山西省同様に導入には消極的であると見られる。自主導入の場合には、4名の専門家が導入に消極的であると回答した。この4名の専門家が回答した値が0に近い値となった。それぞれの専門家は四川省においてCDM案件での太陽光発電システム導入には積極的ではない。「電力系統が未整備の場所での導入は難しい」という要因と「設置できる土地制約がある」の二つの項目を最も問題視するという回答が多く、それぞれ最小の値が-0.262、-0.486となっていることから、この二つの要因が四川省において導入の障壁となっていることが明らかとなった。

遼寧省ではCDM案件の場合、2名の専門家が導入に積極的であり、4名の専門家が導入に消極的であることが明らかとなった。中でもCDM評価者の総合重要度の値が-0.486、中国のエネルギー環境の専門家が-0.453、と低い値となっていることから導入には非常に消極的であると考えられる。その理由として「石炭火力などよりも発電コストが高い」、「設置できる土地制約がある」がそれぞれ最小で-0.453、-0.486となっておりこの要因を問題視していることが明らかとなった。また、3名の専門家が自主導入の場合導入に積極的であると回答した。環境の専門家が0.440、エネルギー環境政策担当者が0.250と高い値となっている。その理由として、「導入に経済的なメリットがある」という要因と「環境政策があると導入が進み易い」の二つの項目を最も重視するという回答が高い値となっており、それぞれ最大の値が0.463、0.310となっていることから、この二つの要因が遼寧省において導入の強み・機会となっていることが明らかとなった。理由として、遼寧省は北部に位置するため石炭生産地に近いことから太陽光発電システムを導入するよりも石炭を使用した火力発電での発電コストが安いことが考えられる。また、日射量が比較的高い省であるため経済的なメリットがあると判断され、環境政策を整備することで導入が更に進むことが考えられる。

江蘇省ではCDM案件の場合2名の専門家が導入に積極的で、4名の専門家が導入に消極的であることが明らかとなった。導入に消極的な専門家の中でも中国のエネルギー環境の専門家の総合重要度の値が-0.618、再生可能エネルギー導入の専門家が-0.607、と低い値となっていることから導入には消極的であると考えられる。「石炭火力などよりも発電コストが高い」、「初期コストの負担が大きい」という要因がそれぞれ最小で-0.567、-0.494となっておりこの要因を問題視

していることが明らかとなった。また、4名の専門家が自主導入の場合導入に積極的で、2名の専門家が導入に消極的であると回答した。エネルギー環境の専門家が0.268、CDM評価者が0.102となっている。その理由として、「導入に経済的なメリットがある」という要因を最も重視するという回答が高い値となっており、それぞれ最大の値が0.493となっていることから、この要因が江蘇省において導入の強みとなっている。江蘇省は中国の沿岸部に位置し、経済発展が進んでいるため系統の整備が非常に進んでいる地域である。そのため電力消費量が多く自主導入の場合には導入に積極的な専門家が多く、導入に経済的なメリットが多いという要因を強みとしている。また、電力価格も非常に高くなっている。それにより太陽光発電システムを導入することで初期コストの負担が電力価格の上昇に影響することや、石炭火力などよりも発電コストの負担が大きいことがCDM案件として導入する弱みとなっている。この弱みを改善することで太陽光発電システム導入が更に進むと考えられる。

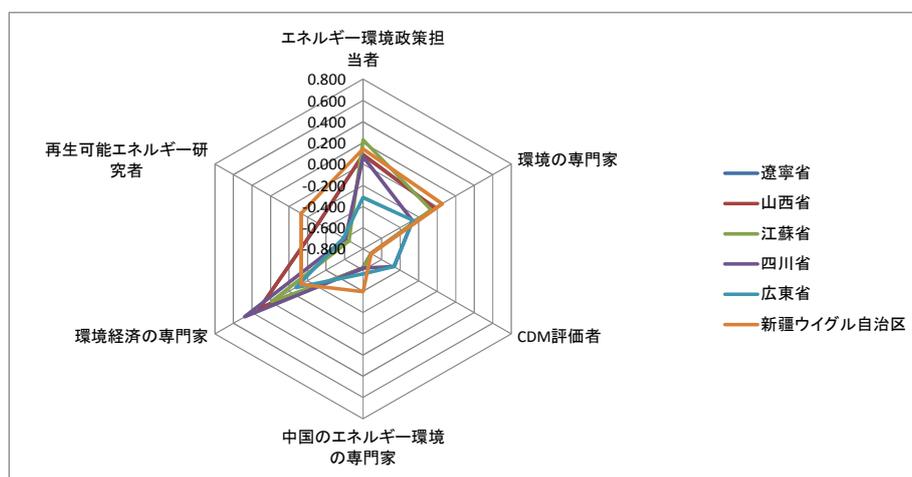
広東省では、CDM案件の場合すべての専門家が導入に積極的でないことが明らかとなった。3名の専門家が自主導入の場合導入に積極的であると回答したものの、回答した値が0に近い値となっている。そのため、それぞれの専門家は広東省において太陽光発電システム導入には積極的ではないと考えられる。その理由として、「初期コストの負担が大きい」という要因で最低の値が-0.494、-0.417、「石炭火力などよりも発電コストが高い」という要因で最低の値が-0.422、-0.551となっていることから、広東省は電力価格も高いため導入することで電力価格が更に高くなってしまふことが理由だと考えられる。また、設置できる土地に制約があることや系統の密度がそれほど高くないため発電した電力を送電することでロスが大きくなることが障壁の原因になっていると考えられる。

新疆ウイグル自治区ではCDM案件の場合2名の専門家が導入に積極的で4名の専門家が導入に消極的であることが明らかとなった。中でもCDM評価者の中で導入に消極的な専門家の回答は総合重要度の値が-0.713、中国のエネルギー環境の専門家が-0.397、と低い値となっている。「電力系統が未整備の場所での導入は難しい」、「初期コストの負担が大きい」、がそれぞれ最小で-0.486、-0.349となっておりこの要因を問題視していることが明らかとなった。また、4名の専門家が自主導入の場合導入に積極的であると回答した。環境の専門家が0.738、再生可能エネルギー導入の専門家が0.559、中国のエネルギー環境の専門家が0.205 と高い値となっている。その理由として、「日射量が多いと発電量が増える」という要因が高い値となっており、それぞれ最大の値が0.560となっている。このことから、この要因が新疆ウイグル自治区において導入の強みとなっていることが明らかとなった。以上より、新疆ウイグル自治区は日射量が非常に高いことから導入に非常に強みとなり導入に積極的であることが明示される。しかし、新疆ウイグル自治区は省の面積も非常に大きく、山岳地帯が大半を占めるため電力系統の密度はそれほど高くない。このことが導入の障壁となっていると考えられる。

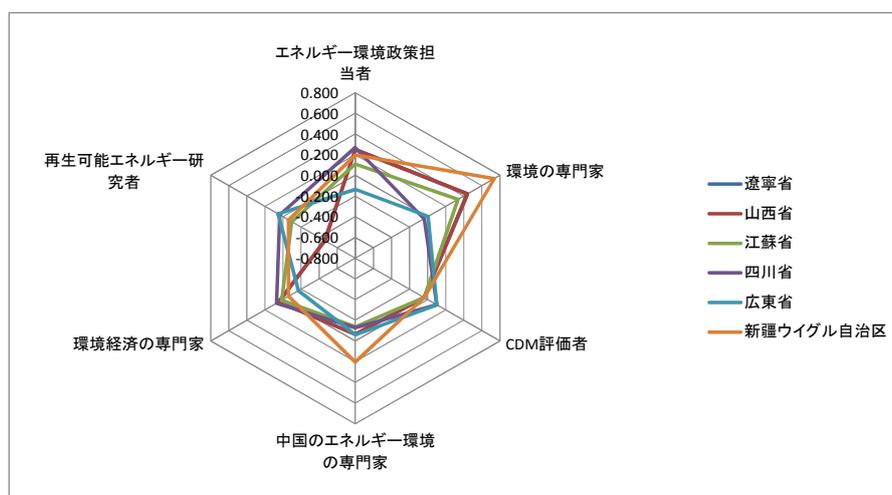
CDM案件を想定したケースでの各省の総合重要度の値を図(1)-28にまとめる。新疆ウイグル自治区に太陽光発電システムを導入したいと考える専門家が他の省と比べると多い。その他の省は導入に消極的であるという回答が非常に多かった。その理由として考えられるのは、新疆ウイグル自治区は日射量が非常に高いことや、これまでCDM案件としての導入が行われてきた経緯がある。そのため、各専門家が導入に積極的であるという回答をしたと考えられる。一方、遼寧省への導入に消極的な専門家が多いことも明らかとなった。遼寧省は日射量が高いものの、系統の密度が

低いという要因があるため導入に積極的ではないと判断されたと考えられる。また、ホスト国の専門家である環境経済の専門家の結果がその他の専門家に比べて、導入に積極的であるということも明らかとなった。その要因としてこの専門家がCDM導入に関わっていたことから、他の専門家よりも比較的導入に積極的な立場であることが考えられる。一方、CDM評価者とエネルギー環境の専門家は導入に消極的であるという回答をしたことが明らかとなった。

次に、自主導入想定ケースでの各省の総合重要度の値を図(1)-29に示す。自主導入の場合はCDMでの導入の総合重要度と比較して導入に積極的であることが明らかとなった。特に、新疆ウイグル自治区だけでなく遼寧省や江蘇省での導入にも積極的であることも明らかとなった。その理由として、遼寧省は日射量が高く、江蘇省は日射量がそれほど高くないが、どちらも導入後の経済的なメリットを得ることができるという理由から導入に積極的であることが明らかとなった。また、自主導入の場合、クレジット購入国である環境の専門家は3つの省で導入に積極的であると回答し、消極的であると回答した省の総合重要度も0に近い値となっていることから、全体的に導入に積極的であると考えられる



図(1)-28 CDM案件を想定したケースでの各省の総合重要度



図(1)-29 自主導入想定ケースでの各省の総合重要度

これらの結果から、政策者やCDM実施者よりも、専門家が導入に積極的であることが明らかとな

った。また、CDM案件の場合はホスト国の専門家が積極的であり、自主導入の場合はクレジット購入国の専門家が導入に積極的であることが定量的に示された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本サブテーマでは、石炭輸送の最適化評価に基づく先進火力発電技術導入評価により従来のライフサイクル評価をさらに前進させた詳細評価が可能となり結果の有用性が高められた。また、中国の都市域でのSO<sub>x</sub>排出拡散評価と先進火力導入における曝露緩和評価に加え、中国沿岸都市域でのバイオマス発電、集中型大規模太陽光発電、等の再生可能エネルギー導入評価を進め、先進火力導入に伴う外部性評価ならびにアジア地域において再生可能エネルギー導入評価を展開するための手法構築ならびにデータベース構築の基盤が整備された。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

低炭素地域社会の構築を目標とするつくば3Eフォーラムにおいて、本研究で開発したモデルであるエネルギーチェーンLCA及び地理情報システム評価法が活用され、つくば市ならびに茨城県における緩和技術オプションの選定に貢献した。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

本研究成果において構築されたモデルは、茨城県のエネルギープラン作成資料として利用されることが見込まれている。本サブテーマではエネルギーチェーンLCAモデルと地理情報システムを統合した評価モデルの構築により、各要素技術オプションと各プロセスフローについて中国を中心とするアジア地域への適用作業の方法を検討し、温暖化緩和の可能性の大きい中国を中心とした地域を対象に、緩和効果について定量的に評価を進めた。これらの手法ならびにエネルギー分析及び環境負荷影響分析結果がわが国の温暖化抑制施策に貢献することが期待される。研究期間を通じて論文発表、国際会議における発表、ワークショップ開催を通し成果発信を展開した。課題終了後においても国際会議発表、論文発表を通じ、成果の広報・普及に努める。

## 6. 国際共同研究等の状況

中国北京市の国家発展改革委員会能源研究所エネルギーシステム分析センターのJiang Kejun研究員と「中国におけるコベネフィット研究動向ならびに大気汚染状況調査」について協力関係にあり、また、同研究所Mi Chuan研究員および清華大学Wei Zhihong教授とは「中国におけるCDM動向調査ならびにCDMベースライン」について、太原科技大学の環境・安全学院院長の郭圧兵教授とは「中国における石炭火力発電技術動向ならびに脱硫脱硝導入状況調査」について協力関係にある。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) K. OKAJIMA, H. UENO and Y. UCHIYAMA: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 243, 875-884 (2011)  
"Optimization Analysis of Coal Transportation for Introducing Advanced Coal-Fired Power Generation Technology in China"8)
- 2) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 174, 115-123 (2011)  
"Multi-Criteria Decision Analysis for Assessment of Wind Power in Kazakhstan"
- 3) H. SAMUTA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A263, 1-6 (2011)  
"Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System"
- 4) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A078, 1-6 (2011)  
"Wind Power Development in Kazakhstan: Potential and Obstacles"
- 5) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: Proceedings of the International Conference on Applied Energy (ICAE2012), A263, 1-6 (2012)  
"The Geographical Distribution of the Available Area for Large-scale Photovoltaic Energy-potential Evaluations in Liaoning, China"
- 6) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: Journal of Renewable Energy, (2013)  
"Evaluation of Potential Geographic Distribution for Large-Scale Photovoltaic System in Suburbs of China" (in press)

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 岡島敬一：エネルギー・資源、32, 3, 62 (2011)  
「カザフスタンの特殊な状況」

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: POWER KAZAKHSTAN 2010, Almaty, Kazakhstan, 2010  
"Co-benefit Approach of Mitigating Technologies toward developing Low Carbon Society in Asia"
- 2) 上野博史、岡島敬一、内山洋司：第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2011)  
「中国での先進火力導入における石炭輸送の地域別環境負荷分析」

- 3) 渡邊 望、岡島敬一、内山洋司：第30回エネルギー・資源学会研究発表会（2011）  
「GISを用いた中国都市域におけるSO<sub>x</sub>曝露量評価」
- 4) K. OKAJIMA, H. UENO and Y. UCHIYAMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China, 2011  
"Optimization Analysis of Coal Transportation for Introducing Advanced Coal-Fired Power Generation Technology in China"
- 5) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China, 2011  
"Multi-Criteria Decision Analysis for Assessment of Wind Power in Kazakhstan"
- 6) H. SAMUTA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China, 2011  
"Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System",
- 7) A. AKHMETOV, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), Hong Kong, China, 2011  
"Wind Power Development in Kazakhstan: Potential and Obstacles"
- 8) 川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司：第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2012）  
「中国主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価」
- 9) 渡邊 望、岡島敬一、内山洋司：第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2012）  
「中国都市域を対象とした先進火力発電技術の導入と外部性評価」
- 10) 佐無田 啓、内山洋司、岡島敬一：第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2012）  
「中国における地域バイオマス発電事業の輸送費用最小化による導入評価」
- 11) Y. UCHIYAMA: International Workshop on a Co-Benefits Approach, Hayama, Japan, 2012  
"Co-benefits and Low-Carbon Societies in Asia"
- 12) M. KAWASE, K. OKAJIMA and Y. UCHIYAMA: The 4th International Conference on Applied Energy (ICAE2012), Suzhou, China, 2012  
"The Geographical Distribution of the Available Area for Large-scale Photovoltaic Energy-potential Evaluations in Liaoning, China"
- 13) 岡島敬一、上野博史、川瀬雅士、内山洋司：日本エネルギー学会第49回石炭科学会議、釧路（2012）  
「中国における石炭輸送最適化の検討と先進火力発電導入評価」
- 14) 呉 鑄軒、川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2013）  
「中国内モンゴル自治区における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル評価」
- 15) 藤崎美弥、内山洋司、岡島敬一：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2013）  
「中国における太陽電池システム導入のSWOT分析」

- 16) 齊 名、内山洋司、岡島敬一：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2013）  
「中国におけるバイオマス利用に関するSWOT分析」
- 17) 川瀬雅士、岡島敬一、内山洋司：第8回日本LCA学会研究発表会、草津（2013）  
「中国における燃料輸送を考慮した先進火力発電の導入評価」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) 地球環境問題と一般世帯の環境意識（平成22年6月14日、筑波大学総合研究棟B0110公開講義室、観客53名）
- 2) 原子力災害、地球温暖化、原油価格高騰を乗り越える日本のエネルギー政策（2012年1月23日、筑波大学総合研究棟B0110公開講義室、観客77名）
- 3) 環境・エネルギー シンポジウム「アジアの大気汚染と地球温暖化対策」（2012年11月27日、筑波大学総合研究棟B0110公開講義室、観客32名）

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) 中国電力年鑑編輯委員会：中国電力年鑑2011，中国電力（2011）
- 2) 国家煤鋳安全監察局：中国煤炭工業年鑑2011，中国煤炭工業出版社（2011）
- 3) 中国人民共和国国家發展和改革委員会：取得新版煤炭生产许可证煤矿（井）名单（第一批），  
([http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbgg/2008gonggao/t20080314\\_197636.htm](http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbgg/2008gonggao/t20080314_197636.htm))（2010）
- 4) 国家統計局能源統計司：中国能源統計年鑑2011，中国統計出版社（2012）
- 5) 高玲：立命館経営学，47，3（2008）
- 6) 平安証券総合研究所：煤炭行業周報，Aug. 2010，（2010）
- 7) 国務院發展研究中心産業經濟研究部：2050中国能源和碳排放報告，科学出版社（2009）
- 8) 日本エネルギー經濟研究所 計量分析ユニット：EDMCエネルギー經濟統計要覽2012，  
省エネルギーセンター（2012）
- 9) 中国交通運輸協會：中国交通年鑑2009，中国交通年鑑社（2009）
- 10) 東西貿易通信社 編集部 編・著：中国の電力産業、東西貿易通信社（1999）
- 11) 伊坪徳宏、稲葉敦：ライフサイクル環境影響評価手法LIME-LCA，環境会計  
環境効率のための評価手法・データベース，産業環境管理協會（2005）
- 12) 石元春；中国再生可能エネルギー發展研究戰略可再生能源发展战略研究叢書

- バイオマスエネルギー巻、中国電力出版社（2008）
- 13) 中華人民共和国国家統計局；中国統計年鑑2012，中国統計出版社（2012）
  - 14) 日本総合研究所；中国・バイオマス発電事業調査報告書（詳細版）、日本総合研究所（2008）
  - 15) J. Arañn Carrión, et al., Renewable Energy, 33, 545-552 (2008)
  - 16) China Historical GIS, “DEM Raster Dataset”, <http://www.fas.harvard.edu/~chgis/>
  - 17) Beijing GeoTechway, “China Resources and Environment 1km Resolution Grid Data Sets”
  - 18) NREL, “Potential for Development of Solar and Wind Resource in Bhutan” (2009)
  - 19) NEDO、「太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン(設計施工・システム編)」、  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2010)
  - 20) SWERA, “Solar : monthly and annual average latitude tilt GIS data at 40km resolution  
for China from NREL” (2005)
  - 21) (財)気象業務支援センター、「世界気象資料」(2009)
  - 22) Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int/2860.php>, United Nations
  - 23) Zhang PD, Yang YL, Li GQ. Energy potentiality of crop straw resources in China,  
Renewable Energy Resource, 6, 80-3 (2007)
  - 24) Wang HB, Zhang RC. Utilization, distribution and exploitation tactics of crop  
stalk resources in China. J Shandong Agri Admin, 2, 164-5 (2007)
  - 25) 国家林業局 中国林業統計年鑑2009 中国林業出版社, 2010
  - 26) WHO, WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and  
sulfur dioxide - Global update 2005- Summary of risk assessment, World Health  
Organization (2005)

## (2) 緩和技術に関わる社会的認識についての調査・分析

(独) 産業技術総合研究所

安全科学研究部門 素材エネルギー研究グループ 野村 昇

平成22年度予～平成24年度予算額：15,028千円

(うち、平成24年度予算額 4,398千円)

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

コベネフィットの価値を評価するためには、発生する便益の価値を評価し、費用と比較することが必要となる。本サブテーマでは、緩和技術の技術オプションにより引き起こされる環境負荷を想定し、その経済価値評価を行うための社会調査を、クリーン開発メカニズム(CDM; Clean Development Mechanism)による最大の認証排出削減量(CER; Certified Emission Reductions)供給国である中華人民共和国で行い、環境影響の経済価値評価と環境意識の分析を行った。調査は、中華人民共和国を代表する都市として首都である北京、山西省農村部及び山西諸都市部の3つの調査地点で、大気汚染による健康被害回避の経済価値評価を主たる目的とした環境意識調査として実施した。北京での調査では、北京の中心部を構成する6つの区の住民を対象に多段無作為抽出法で回答者を抽出して面接法により行い、質問票は大気汚染による健康被害回避について、死亡率減少という指標を対象とした二肢選択法による仮想評価法による質問を中心として構成した。得られたデータを分析した結果、大気汚染による健康被害による死亡率増加回避に対する支払意思額は、年間死亡率の0.5パーミル減少が10年間継続することに対して1,300元程度と推定された。また、この支払意思額は世帯年収、学歴、運動習慣により影響を受ける一方で、喫煙歴、性別の影響は軽微であることも判明した。山西省農村部での調査では、都市部から農村部に性格が異なる場所に調査地域を変更した。調査地点は、山西省を構成する11の地級市のうち3つを選択して、訪問面接法による調査を実施した。得られた回答を分析して推定された支払意思額の金額そのものは、北京より若干低いと推定されたが世帯所得の分布の差異ほどには、支払意思額の差は大きくはなかった。最終年度に実施した山西省都市部の調査では、前年農村部で調査を行ったのと同じ省内の都市部で、同様な面接調査を実施した。

### [キーワード]

クリーン開発メカニズム(CDM; Clean Development Mechanism)、コベネフィット、仮想評価法(CVM; Contingent Valuation Method)、支払意思額(WTP; Willingness to Pay)

### 1. はじめに

クリーン開発メカニズム(CDM; Clean Development Mechanism)は、温室効果ガス削減において削減義務を負っている国が、削減義務を負っていない国における排出量を減少させるプロジェクトの支援を行うことにより、認証排出削減量(CER; Certified Emission Reductions)として温室効果ガス排出のためのクレジットを得る制度である。その際、排出削減義務を負っていない国は、

プロジェクト実施に対する対価を得る。この制度の主要な目的は、温室効果ガス排出量の削減である。しかしながら、温室効果ガス排出量の削減義務を負わない国にとって、CDMプロジェクト実施をすることによる便益は経済的な対価を得ること以外は必ずしも明確ではない。一方、CDMプロジェクトの実施により、環境的、社会的な副次的な効果が発生することがある。その中には、地域的な環境負荷の低減の様な有益なものあり、現地においても便益を享受でき得る。副次的な便益を積極的に評価することは、CDMプロジェクト実施国における理解を深め、CDMの導入促進に資すると考えられる。例えば、火力発電所が更新され大気汚染物質の排出が減少したら、地域に便益をもたらす。この便益の大きさを定量的に評価するのは容易ではないが、近年、環境の金銭尺度による評価のため環境経済的評価手法の適用が試みられつつある。本サブテーマでは、副次的便益として大気汚染の改善によるひとの健康被害減少の経済価値換算を目指した研究を実施した。このために、CDMプロジェクトによるCERの最大の供給国である中華人民共和国(以下中国と記す)において、環境意識を設問の中心とした社会調査を実施した。

## 2. 研究開発目的

サブテーマ2は、CDMによる緩和技術の技術オプションにより副次的に発生する副次的便益の経済価値を推定することを目的として地域的な環境負荷改善を想定し、その経済価値評価を行うための経済価値換算のための係数を推定することを目的としている。この係数を決めることにより、評価対象とした項目を副次的効果として含めたCDMの総合的評価を行うことが可能となる。この目的のために、CDMプロジェクトの対象となり得る地域において、環境被害軽減シナリオに対する経済的な価値を支払意志額という形で問う社会調査を実施した。得られた回答データからの経済価値換算を行うと共に、これらの数値の背景となる支払意志額に影響を及ぼす要因及び環境意識も同時に分析を行った。また、技術の受容性を評価するために再生可能エネルギーシステムに対する認識についても同時に調査に含める様にした。この調査・分析から得られる結果が、副次的便益の積極的評価を通して、CDMを含む環境負荷低減における国際協力推進に資することを目指している。

## 3. 研究開発方法

### (1) 調査対象の選択

環境についての経済評価を行うための社会調査を、CDMプロジェクト実施対象国において実施し、分析を行う。環境の価値についての経済評価を行うに当たっての評価対象として、日本版被害算定型影響評価手法<sup>1)</sup>(LIME; Life-cycle. Impact assessment Method based on Endpoint modeling)では、人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産の4つの保護対象を評価対象として取り上げており、CDMの総合的な評価をLCAに基づいて行うためにこの4つのなかから評価範囲を選ぶのは現在のLCAからは合理的と考えられる。ここでは一般の人が最も価値評価をしていると考えられる人間健康を対象とした。また、CDMに引き起こされる環境負荷を評価対象として想定しているため、火力発電システムで想定される大気汚染による健康被害とした。ひとの大気汚染による被害の経済価値評価の方法としては、大気汚染による疾病罹患によって引き起こされた労働時間の損失による方法や、必要になった医療費を評価対象にする方法が提案されている。ここでは、提案されている方法のなかのひとつとして、回答者が環境改善に対する対価として支払っても良いと考え

る金額である支払意志額(WTP; Willingness To Pay)を得て、これにより経済価値を評価する方法を用いた。環境の経済的な価値は支払を行う意志がある金額の上限で与えられると考えることができる。回答者に環境負荷が変化するというシナリオとそれに付随したコスト負担を提示し、このコスト負担を受け入れるか否かを質問することにより支払意志額を問う仮想評価法(CVM; Contingent Valuation Method)を用いた。支払意志額の調査において、近年は多くの評価対象を同時に評価するコンジョイント分析(Conjoint Analysis)が用いられることが多くなってきているが、今回の調査では評価対象を健康リスクに絞りCVMを用いた。

本研究では、CDMプロジェクトにより供給されるCERの最大の発生国である中国を対象とした。中国を調査地点とした大気環境への支払意志額の調査はHammit & Zhou<sup>2)</sup>等で行われているが、調査例は少なく、また経済発展の速さから環境価値への認識も急速に変化していると考えられる。広大な国土を有する中国は地域により多様性に富んでいること想定されるが、3ヶ年の研究期間において各年度に1つの地域ずつで調査を実施した。1年目の2010年度においては、国を代表する都市として、首都である北京を調査対象地域とした。北京においては、2008年に開催された北京オリンピックの前後において大気汚染の状況が大きく変化したと言われている。Hou, et. al.<sup>3)</sup>では、オリンピック前後の大気汚染の状況について開催期間中はそれ以前より浮遊煤塵(PM; Particulate Matter)が減少し、開催後に増加したものの開催前よりは少ないと報告している。調査では、回答者の開催前後における汚染変化への認識も調査項目に含めた。2011年度においては、都市部との違いが大きい可能性のある農村部を調査対象とした。調査対象地域は、人為的な排出源による大気汚染による影響が大きいとされている山西省を選択した。2012年度においては、地方都市を対象とすることとし、地域としては前年度に農村部を調査した山西省の都市部とし、地点として陽泉市中中心部を選択した。

## (2) 調査の方法

調査内容が複雑であり、主要な質問である支払意志額についての設問は説明を要するものであるため、調査の方法としては訪問面接法を用いた。回答者は特定の集団に所属するひととするのではなく、対象地区に居住する一般の人とした。このために、調査地点において多段サンプリング法により回答者の抽出をし、回答候補者の住居を直接訪問して依頼を行う方法をとった。回答者のサンプリングは、地点の決定、世帯抽出、個人抽出の段階を経て行った。

2010年度に実施した北京での調査では、北京市を構成する直轄区のなかから調査地点を選び、サンプリングを行っている。表(2)-1に北京市の地区別人口分布を示す。(数値は、Wikipediaによる。)北京市は、14の直轄区と2つの県から構成されている。東城区、西城区の2つの区が北京の中心的な地区とな

表(2)-1 北京市における人口分布

District	人口 (2000年国勢調査)	面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (per km <sup>2</sup> )	全市に対する 人口比率
<b>中心地区</b>				
東城区	882,000	41	21,724	6%
西城区	1,233,000	47	26,516	9%
小計	2,115,000	87	24,282	16%
<b>市街地区</b>				
朝陽区	2,290,000	471	4,864	17%
海淀区	2,240,000	426	5,258	17%
豊台区	1,369,000	304	4,500	10%
石景山区	489,000	90	5,445	4%
小計	6,388,000	1,291	4,949	47%
中心6区計	8,503,000	1,378	6,171	63%
郊外6区	3,679,000	7,490	491	27%
田園 2区2県	1,388,000	7,948	175	10%
合計	13,570,000	16,816	807	100%
<b>(参考)</b>				
四国	4,086,457	18,806	217	
東京都	13,039,875	2,188	5,961	
東京都区部	8,839,406	622	14,212	
大田区	684,304	59	11,509	

っている。なお、調査実施の僅か前の時点である2010年7月に、中心地区の崇文区及び宣武区はそれぞれ東城区、西城区と合併して、合併前の中心地区4区は2区に再編された。中心の市街化された地区はその周りの朝陽区、海淀区、豊台区、石景山区まで広がっている。一方、門頭溝区、房山区、通州区、順義区、昌平区、大興区は郊外とされており、表中には郊外6区として記した。人口密度は中心地区が1,000人/km<sup>2</sup>を超えているものの、郊外では1,000人/km<sup>2</sup>未満である。その外側の、表中で田園2区2県記載した2区2県では、人口密度は400人/km<sup>2</sup>未満となる。参考のため、日本の四国、東京都、東京都23区、大田区についての値を表に付した。行政区としての北京市は、人口については東京都と同程度であるものの、四国より少し小さい程度の面積を持ち非常に広大である。2010年度の調査においては、これを都市部での調査と位置付けることとし、中心及び市街地区を構成する6つの区を調査区域とした。中国の行政区では、市街地では区の下部組織として街道がある。6つの区の周辺部には街道以外に鎮、郷が設定されている地区があるものの、これらは調査では除外した。また、治安上調査困難な地区も調査時の判断により調査対象から除外した。調査対象者の抽出においては、各区に人口に基づきサンプル数を割り振り、多段サンプリングを用いた。調査地区の居民委員会を最初に抽出して決定を行い、次に各居民委員会の地区で定間隔に世帯を訪問して調査への協力を要請した。なお、調査バイアスの低減のため1地点からの調査件数は10軒以内とした。回答者は、質問に理解できるひとを対象にする必要性から20歳以上のひととし、年齢が高いと調査実施が困難である可能性が高いことから年齢上限を59歳とした。

2011年度には山西省農村部においての調査を実施した。山西省は図(2)-1に示す11の地級市から構成されている。省都は太原市であり、北部の大同市、東部の陽泉市は炭田を擁することから発展した工業都市として知られている。調査は火力発電所による大気汚染の評価を想定して質問票を構成していることもあるため、火力発電所位置も地点選択の構想段階においては考慮した。山西省では、小規模な発電所は省内全域に分布していると思われるものの、大規模な発電所は北部の太原市、大同市に所在しているものが多い。一方、運城市の河津には日本のODAにより建設された発電所が所在しており、山西省南部の電力事情改善に貢献したと報告されている。11の地級市からGDP及び火力発電所の所在位置と所得を考慮し、所得が高いと考えられる太原市、所得が中程度と考えられる運城市、所得が低いとされる晋城市の3つの地級市を調査対象地域とした。各地級市内には、県、県級市、区の3種の異なる行政区分がある。農村部は県が設置されていることが多く、区は都市部の中心地区に設置されている。2011年度の調査においては、地級市内でGDPを参考に調査対象となる県を太原市では1つ、晋城市及び運城市では3つ選択した。次に、各県内の農村をリストアップし、農村を各地級市で6村(晋城市及び運城市では、2村/県)無作為抽出する。無作為抽出された農村規模が小さい時は、その農村に代え人口規模が十分に大きい次の番号の農村を調査対象とした。各農村が抽出されたら、次に調査時点において農村において起点を決定し、5軒おきに世帯を訪問して調査への回答を依頼した。農村部という地理



図(2)-1 山西省を構成する地級市  
(Wikipedia掲載の図に市名を追記)

的特性上、都市部より住宅の密集度は低い。このため、1箇所での訪問数は25-35人程度とした。回答者は、年齢の下限は北京での調査と同様に質問への理解の可能性から20歳とした。年齢の上限は、前年度実施の北京での調査では59歳としていたが、2011年の調査においては上限年齢を引き上げ69歳とした。

2012年度は、地方都市の調査と位置づけ山西省の陽泉市を調査対象地区として選択した。陽泉市は、山西省を構成する11の地級市のひとつで山西省東部にある都市であり、新中国になってから石炭鉱業を中心に発達した都市として知られている<sup>4)</sup>。陽泉市の市域は、城区、鉱区、郊区、平定県、孟県の3直轄区、2県から構成されており、人口が集中しているのは城区、鉱区である。この調査度は、地方都市の調査に位置付けられているため、行政区として街道が設置されている中心部を調査対象とすることとして、城区、鉱区を調査区域とした。回答者は調査地点抽出、調査世帯抽出、個人抽出の過程を経て抽出した。調査地点の抽出においては、調査区域を格子状に区切り番号を付け、乱数によりランダムにマスを選択した。そのマスが住宅地でない場合は再度乱数により代替のマスを抽出した。調査対象のマスの中に始点を決定して、そこから一定軒数おきに世帯を訪問して調査への協力を依頼した。協力が得られない世帯は飛ばして次の世帯に協力を依頼した。調査対象年齢は、前年度に実施した農村部での調査に引き続き20歳から69歳とした。

調査協力世帯が得られた後に、世帯を構成する世帯員から回答者を選出する個人抽出を行う。個人抽出は、割り当て法とキッシュグリッドを用いた選択を併用した。キッシュグリッドは、世帯内で回答者をランダムに選ぶ方法で調査対象となる世帯員の一覧を作成した後、世帯人員と調査の順番から回答者を無作為的に決定する方法であり、割り当て法は、年齢層、性別等の特性により調査対象とするサンプル数をあらかじめ定め、各セルを訪問した世帯にいるひとから埋めていく方法である。

### (3) 調査票の構成

調査は、訪問面接法により実施している。調査員が回答者の住居に出向き、調査票を読み上げる形で質問を行い、回答者による口頭による回答を調査員が記録した。大部分の設問は、選択肢を提示し、これを選ぶ形式となっている。選択肢は、調査員が読み上げる他にショーカードの形で回答者に提示している。調査票は、大気汚染による健康被害の経済価値評価を行うための設問を中心として構成した。調査の主目的である健康リスク低減に係わる質問を中心に配置し、その前後に関連する質問を配した。

健康リスク低減に関する質問は、大気汚染により健康を害する被害を回避するための支払意志額をCVMにより用いて尋ねることとした。大気汚染による健康被害としては、先行研究では喘息等の呼吸器系疾患、心臓疾患の増加が指摘されている。また、一部の研究では乳幼児についてのリスクも重要と指摘されているが、本研究では成人を対象に自分自身の健康に対する支払意志額を対象としているため、成人に対するリスクを評価することになる。健康リスクの評価を行うに当たっては、健康の度合いを指標化することが必要となる。公衆衛生学、ライフサイクルアセスメントで使用されている障害調整生命年 (Disability-adjusted life-years; DALY) においては、疾患の種類により重みが定義されている。これを参照して回答者に質問することも想定されたが、限られた質問時間で妥当な回答を得ることは困難が予想されたため、内容的に意味が分かりやすい、死亡率を評価対象とした。質問では、死亡率変化について直接に支払意志の有無を尋ねるの

では回答者が内容をイメージすることが難しいことを配慮し、大気汚染による死亡リスク増加を緩和するために、吸入器を購入する意志があるかを尋ねる方法を用いた。大気汚染の改善は、汚染防止費用の支払をした人だけが享受するのでなく(非排除性)、改善を享受するひとの存在が他の人の便益を減少させるのでない(非競合性)ため公共財としての性質を持ち、結果としてフリーライダーを誘発する恐れがあるため、今回の調査においては大気汚染の減少を直接質問する方法を用いなかった。

中国における生命表の統計(中国人口統計年鑑2006)から算出された10年間生存率(A)、大気汚染により死亡率が増加したとして計算した10年間生存率(B)、吸入器の効果により死亡率が表(B)より減少した値である10年間生存率(C)を提示して、吸入器の効果により死亡率が表(B)から表(C)に変化する時、提示した金額の吸入器を購入するか否かを尋ねた。生存率(B)は文献を参考に、現状認識として妥当と考えられる年間死亡率が1パーミル増加した場合の値、生存率(C)は生存率(B)より年間死亡率が0.5パーミル小さい、すなわち、表(A)より0.5パーミル大きい値を用いて計算したものをを用いている。ここで、パーミルは1000分の1の比率、すなわち0.1%の大きさを表す。回答者に提示したのは、10年後にも生存している確率と死亡している確率の両者、あるいは調査により何れかの男女別、年齢別の値である。表(2)-2に計算で使用した年間死亡率の抜粋を、表(2)-3に提示した10年間生存率の一部を示す。回答者には、1歳刻みに計算した値を提示している。

回答は、吸入器の購入をするか否かの二肢選択で行われる。購入すると答えた回答者には金額を引き上げた提示額を示し、購入しないと答えた回答者には金額を引き下げた金額を提示し再度購入の意志の有無を尋ねた。CVMでは、回答を2回求める二段階二肢選択法が用いられることが多いが、今回は3回の回答を求めた。通常2回ではなく3回の回答を求めることにしたのは、金額の範囲を狭める目的の他に、提示する金額を大きく変化させるためでもある。CVMにおいては提示額に関わらず支払わないという回答者、反対に非常に高い金額まで支払を行うという回答者の存在が指摘されており、その影響を金額を大きく変化させて減少させる試みのためでもある。1回目の質問に対して購入すると答えた回答者には、2回目の提示では1回目の金額の2倍程度の金額を提示することが多いのに対し、提示額を大幅に引き上げ4倍程度とした。購入しないと答えた回答者への引き下げ幅も大きくし、同一の回答を繰り返す回答者に広い範囲の提示額を示すこととした。

購入対象となる金額は、使用する薬剤等を含み寿命は10年間とした。このため、支払いの対象は死亡率が0.5パーミル減少することが10年間継続することに相当する。調査票は、提示額が異なる

表(2)-2 用いた年間死亡率(単位：パーミル、抜粋)

年齢	死亡率(A)		死亡率(B)		死亡率(C)	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
20	1.28	0.47	2.28	1.47	1.78	0.97
25	1.20	0.70	2.20	1.70	1.70	1.20
30	1.49	0.63	2.49	1.63	1.99	1.13
35	2.02	0.84	3.02	1.84	2.52	1.34
40	2.27	1.10	3.27	2.10	2.77	1.60
45	3.63	1.79	4.63	2.79	4.13	2.29
50	4.94	2.97	5.94	3.97	5.44	3.47
55	7.68	3.95	8.68	4.95	8.18	4.45
59	10.32	6.83	11.32	7.83	10.82	7.33
60	12.15	7.59	13.15	8.59	12.65	8.09

表(2)-3 提示した10年間生存率(抜粋)

年齢	10年間生存率(A)		10年間生存率(B)		10年間生存率(C)	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
20	0.9867	0.9945	0.9769	0.9845	0.9818	0.9895
25	0.9845	0.9931	0.9747	0.9832	0.9796	0.9882
30	0.9807	0.9908	0.9709	0.9810	0.9758	0.9859
35	0.9747	0.9881	0.9649	0.9783	0.9698	0.9832
40	0.9645	0.9826	0.9548	0.9728	0.9596	0.9777
45	0.9500	0.9729	0.9405	0.9632	0.9453	0.9680
50	0.9284	0.9578	0.9191	0.9482	0.9237	0.9530
55	0.8897	0.9308	0.8807	0.9215	0.8852	0.9261
59	0.8415	0.8971	0.8330	0.8881	0.8372	0.8926
60	0.8246	0.8856	0.8163	0.8766	0.8205	0.8811

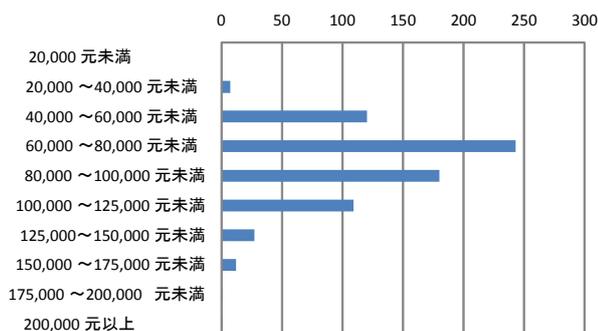
るものを複数準備し、回答者にはその内ひとつが割り当てられる。

なお、吸入器を現に所有していると回答がゆがむ可能性はある。今回の調査では、CVMに関わる設問の後に、個人属性に関わる設問を配置してあり、いくつかの耐久消費財について所有の有無を尋ねている。吸入器については、山西省都市部の調査で所有している世帯が極少数あったが、普及率が1%程度であったので分析においては考慮はしていない。類似の機器として空気清浄機があるが、北京、山西省都市部では5~8%の普及率であった。

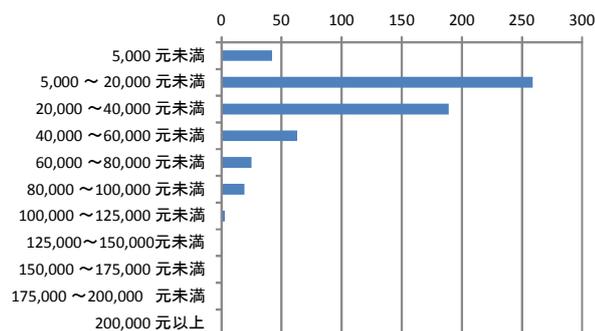
2011年度の山西省農村部での調査においては、前年度に北京で行った調査と調査票の設計はほぼ同様であるが、北京特有の項目入れ替える様にした。2012年度に実施した山西省都市部の調査においては、中心となるCVMに関する設問については北京及び山西省農村部の調査で用いた設問を踏襲した。一方、研究計画に掲げられている技術の受容性についての回答を得るために代表的な自然エネルギー利用システムである風力発電、太陽光発電、バイオマスエネルギーについての認識についての設問を新たに設けた。ただし、次項に記す様に社会情勢から一部の調査を、質問票の最小限の変更に止めて予備調査に先行して実施したため、技術への認識についての設問は予備調査後に実施した調査についてのみ設け、該当調査数は2012年度の約半数となった。

#### (4) 調査の実施

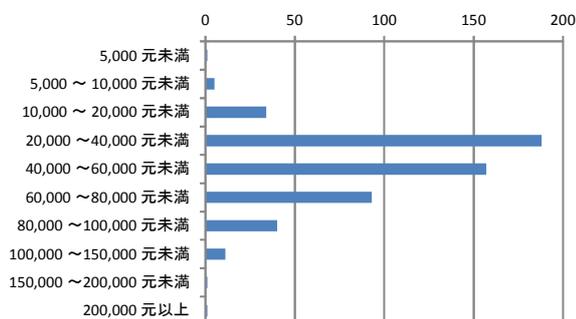
2010年度に実施した北京での調査においては、2010年11月上旬に予備調査を10サンプルについて行い調査票の妥当性を検討した後に、11月から2011年1月にかけて700サンプルの調査を実施した。状況から、所得水準の質問での選択肢を高所得側に広げる等の修正を行った。質問時間は20分間から30分間を想定して質問票の設計をしたが、実際には26分から45分の間で分布した。このため、調査の途中で質問項目を少なくする修正を行った。



図(2)-2 北京所得分布



図(2)-3 山西省農村部所得分布



図(2)-4 山西省都市部所得分布

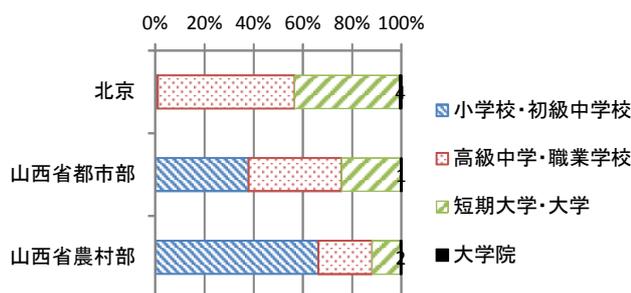
2011年度の山西省農村部の調査においては、2011年11月中旬に予備調査を山西省の省都である太原市の近郊部の農村で10サンプルについて行い調査票の妥当性を検討した。11月末から2012年1月にかけて600サンプルの調査を実施した。予備調査の状況から、所得水準の質問での選択肢を前年度に実施した北京での調査に比べ低所得側に重点をおき、住居形態、職業欄を現地の実態に合わせる修正を行った。2012年度の山西省都市部の調査においては、当初予備調査実施を予定していた秋に中国国内の治安状況が急速に悪化したため、現地の実態を見極めながら調査を進めた。前年度の調査票から限定した修正のみを行った調査票により先行して10月に調査サンプル数の約半数である250件を実施し、その後に予備調査を実施して調査票の修正を行った後に11月から1月にかけて300件の調査を実施した。

#### 4. 結果及び考察

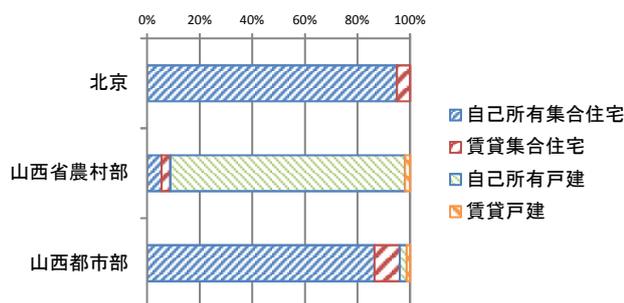
##### (1) 回答者の属性

回答者は、年齢、性別がほぼ均一になるようにサンプリングを行っているため、性別については、男性と女性がほぼ同数となっている。年齢層については、10歳刻みで20歳代から50歳代まではほぼ等しい人数、山西省調査のみで対象とした60歳代は他の年齢階層に比べ約半数のサンプル数となっている。

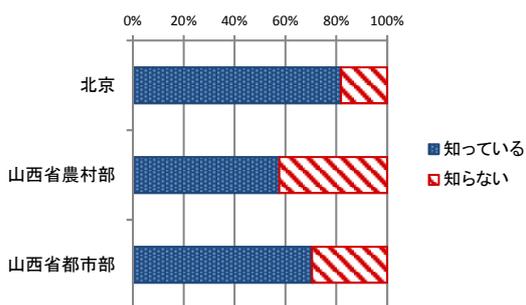
3箇年に渡り、特性が異なる地域について1箇所ずつ調査を行ったため、世帯所得については年度により分布が大きく異なっていた。図(2)-2～図(2)-4に地点別の世帯所得の分布を示す。世帯所得は、約10個の選択肢から回答を選ぶ形式で質問した。各調査地点において、予備調査時点の様子を勘案して、提示する選択肢は若干変更している。北京市においては、年間10万元までは2万元刻み、10万元から20万元は、2万5千元刻みの選択肢を提示した。4万元～12万5千元程度の選択肢が多く選ばれており、一番多く選ばれた選択肢は6万元～8万元であった。山西省農村部での調査においては、予備調査の結果から北京での調査より世帯所得が低めになることが予想されたため、世帯年収5千元未満の選択肢を追加した。世帯年収5,000元～6万元の範囲に相当する選択肢を多くのひとが選択しており、一番多く選ばれていた選択肢は5千元～2万元であり、北京に比べて2～3分の一の収入であった。山西省都市部については、5千元～2万元に選択肢を1万元を境界に二分割し、15万元～20万元の範囲の2つの選択肢をひとつにまとめた。都市部での調査では年収1万元未満の回答者が減少し、一番多く選ばれた選択肢は2万元～4万元となり、



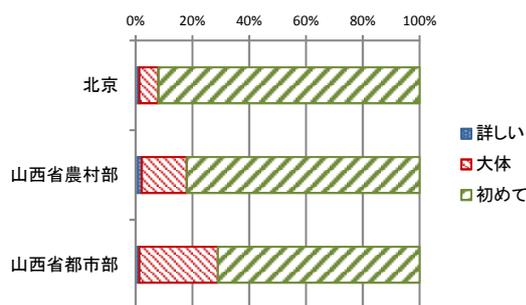
図(2)-5 回答者の学歴分布



図(2)-6 住宅の状況



図(2)-7 地球温暖化問題への認識



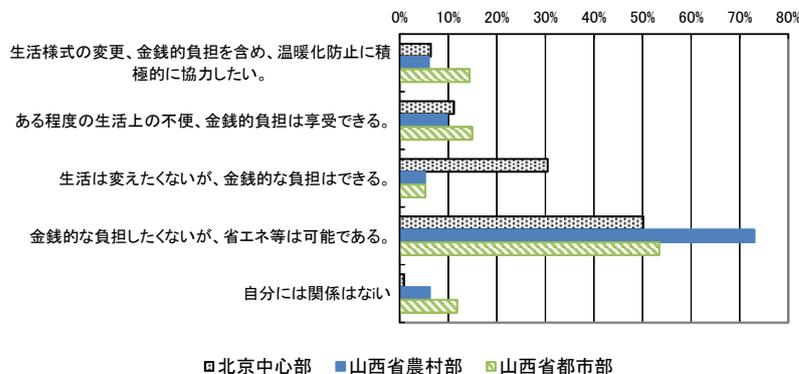
図(2)-8 京都議定書への認識

調査前から予測していた様に山西省都市部の所得分布は北京と山西省農村部の中間となった。

図(2)-5 に回答者の最終学歴の分布を示す。北京においては、高等学校卒相当と大学卒相当の回答者が大部分を占め、半数弱の回答者は大学卒相当であった。山西省農村部においては、半数強の回答者が中学校卒業相当の学歴であるものの、高等学校卒相当、大学卒相当の回答者もある程度の比率を占めていた。一方、山西省都市部においては、高等学校卒相当、大学卒相当の学歴をもつ回答者が農村部より大きな比率を占め、中学校卒業相当のひともある程度いた。所得だけでなく学歴においても、山西省都市部が北京と山西省農村部の中間的な位置にあった。図(2)-6 に住居形態を示す。北京においては、自己所有の集合住宅の居住者が多数を占めている。一方、山西省農村部においては、集合住宅の居住者は少なく自己所有の戸建の居住者が多かった。山西省都市部においては、戸建住宅の居住者が若干いるものの、集合住宅居住者が大部分を占めており、住居環境としては農村部より北京に近い形態であった。賃貸住宅に住んでいると回答した世帯は、いずれの調査でも少数であった。

(2) 関連質問への回答分布

調査の中心となる設問の前後に環境意識に関連する設問を配置した。調査の最初に地球温暖化問題に対する認識を知っているか否かとのどの程度抑制に協力できるかを質問した。図(2)-7に地球温暖化問題を知っているか否かという質問に対しての回答分布を示す。北京では82%の回答者が聞いたことがあると回答しており、温暖化問題の知識は北京でも広く普及していた。山西省の農村部では58%、同都市部では71%のひとが知っていたと回答しており、北京以外の地域でも地球温暖化問題は過半数のひとに知られていたものの、北京より若干知らないという回答が増加した。所得、学歴と同様に、山西省都市部での地球温暖化問題への知識への回答分布は、山西省農村部と北京の中間となった。



図(2)-9 地球温暖化問題への協力意志

気候変動枠組み条約の京都議

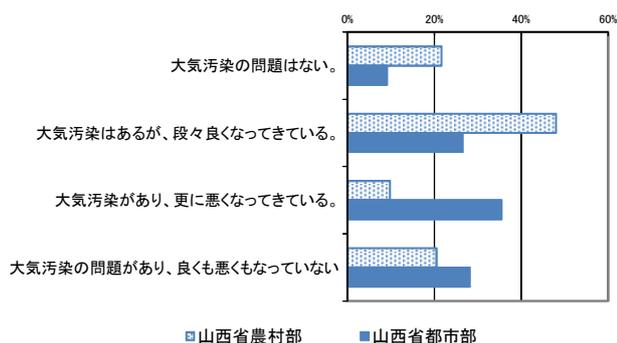
定書についての認識についての回答を図(2)-8に示す。北京では90%以上の回答者が初めて聞いたと回答しており、温暖化問題が広く知られている割には知られていなかった。中国は温室効果ガス排出削減義務を負っていないことも、京都議定書が知られていない原因かもしれない。しかしながら、調査地点による差異を見ると、北京、山西省農村部、山西省都市部と調査年度が後になるに従い、京都議定書について初めて聞いたという回答率が減少しており、地球温暖化問題についての知識と異なる傾向を示している。

図(2)-9に温暖化抑制への協力意志への質問への回答分布を示す。質問は、(1)「生活様式の変更、金銭的負担を含め、温暖化防止に積極的に協力したい」、(2)「ある程度の生活上の不便、金銭的負担は享受できる」、(3)「生活は変えたくないが、金銭的な負担はできる」、(4)「金銭的な負担はしたくはないが、省エネ等は可能である」、(5)「自分には関係ない」から選択する形式としている。一部の調査では他の選択肢を準備したが、その選択肢を選んだ回答者は少数だった。(1)、(2)の選択肢は強い協力意志を示し、(3)、(4)の選択肢は金銭的な負担と、生活様式の変更からの選択が回答内容に影響を及ぼしていると考えられる。北京、山西省農村部、都市部のいずれにおいても一番多く選択されたのは選択肢(4)の省エネ等はできるが、金銭的な負担はしたくないというものであった。この傾向は、研究分担者が先行して実施した日本国内及びタイで実施したときの結果<sup>5,6)</sup>と同様であった。一方、北京は比較的所得が高い回答者が多いためか、生活優先の選択肢である金銭的な負担をして生活を変えたくないという回答者が30%程度を占めていることが山西省の調査、他国での調査の結果と若干異なっていた。

図(2)-10に山西省での大気汚染に対する認識についての回答の分布を示す。この質問は、調査の主要な質問である大気汚染による健康被害回避に対する支払意志額についての設問の前に配置しており、次の質問へ回答の準備を行うための意味もある。質問は、現在の大気汚染の状況について、「問題ない」、「大気汚染はあるが、段々良くなってきている。」、「更に悪くなってきている。」、「良くも悪くもなっていない。」から選ぶ形式となっている。なお、北京においてはオリンピック前後を比較する形式で質問を行った。北京における大気汚染の状況は、オリンピックの前後においてモニタリングポスト等の情報から開催期間においては改善され、終了後は開催中より悪いが開催前よりは良好と言われている報告<sup>3)</sup>がある。北京における調査での回答分布も集約すると開催前と開催中、開催中と開催後の比較を行うとほぼ同様な結果が得られたが、個々の回答の認識では開催期間前後の関係には、ばらつきが見られた。

### (3) 北京における回答の概要と支払意志額の推定

今回の支払意志額を尋ねる質問では、シナリオ及び吸入器購入コストを提示して、吸入器を購入するか否かの二肢選択を3回繰り返す質問を行っている。吸入器を購入すると回答した場合は、吸入器を購入したときの10年後の生存率に対するシナリオに対する支払意志額が提示額より高い



図(2)-10 大気汚染に対する認識



は至らなかった。一方、各所得階級の選択肢に対応した番号を独立変数として回帰を行ったのがモデルCで、こちらのモデルでは所得に関する係数が統計的に有意となっている。モデルBによる推定は、実質的に係数を推定する所得階層及び係数を零とした所得階層毎に個別に分布の位置に相当するパラメータ $a$ を推定していることと同等になるため、現在得られているサンプル数からは統計的な有意性を検出できなかったものの、モデルCによる推定は、所得増加による支払意志額の増加を1つのパラメータで表現していることになり、モデルBよりも統計的に安定的な推定となることから、有意性が検出されたと考えられる。

学歴については、調査時には(1)小学校・初級中学校、(2)高級中学・職業学校、(3)短期大学・大学、(4)大学院の4種に分類して質問したが、(1)及び(4)への該当者は10人未満であったため、分析時は(1)は(2)と、(4)は(3)と合併し、大学卒業相当以上とその他の2種に分類した。モデルDが学歴を取り入れて推定したもので $t$ 値が有意であり、高学歴な程支払意志額が高いという結果となっていた。モデルE及びFに喫煙歴及び運動習慣を考慮した推定を示すが、喫煙歴の影響は小さかったが、運動習慣については、運動習慣が無いとした回答者は支払意志額が低い傾向があった。運動習慣の頻度による有意差は検出されなかった。モデルGは、回答者の年齢階層と性別を加えた推定を行ったものである。回答者の年齢については、年齢が高くなると支払意志が弱くなる傾向が見られたが、統計的に有意にはならなかった。回答者の性別については、特に傾向は検出されなかった。

表(2)-5 モデルの当てはめ結果 (山西省農村部)

	model A	model B	model C	model D	model E	model F
対数尤度	-1,193.0	-1,185.5	-1,193.0	-1,182.5	-1,184.6	-1,187.8
$a$	-5.51 (-22.8)	-5.17 (-14.6)	-5.48 (-20.6)	-5.17 (-14.5)	-5.45 (-13.6)	-5.70 (-21.6)
$b$	0.78 (24.9)	0.79 (24.8)	0.78 (24.9)	0.80 (24.8)	0.79 (24.8)	0.79 (24.9)
世帯所得階級 1		*		*		
世帯所得階級 2		-0.33 (-1.1)		0.54 (0.4)		
世帯所得階級 3		-0.56 (-1.8)		1.20 (0.5)		
世帯所得階級 4		-0.80 (-2.3)		1.86 (0.5)		
世帯所得階級 5		0.14 (0.3)		3.72 (0.7)		
世帯所得階級 6-9		0.60 (1.1)		5.29 (0.8)		
世帯収入 線形			-0.01 (-0.2)	-0.89 (-0.7)		
学歴 小学校・初級中学校				*	*	
学歴 高級中学・職業学校				-0.34 (-1.9)	-0.38 (-2.0)	-0.31 (-1.7)
学歴 短期大学、大学				0.25 (1.1)	0.03 (0.1)	0.16 (0.7)
喫煙歴 今も吸う					*	
喫煙歴 最近禁煙した					-0.63 (-1.4)	
喫煙歴 昔に禁煙した					0.09 (0.1)	
喫煙歴 喫煙習慣経験無					-0.08 (-0.4)	
週5日以上運動					*	*
週3日以上運動					0.37 (0.9)	*
月4回以上運動					0.24 (0.5)	*
仕事で体を使う					-0.21 (-0.8)	*
意識してた運動習慣無					0.31 (1.3)	0.36 (2.5)
年齢 20歳代					*	
年齢 30歳代					-0.08 (-0.3)	
年齢 40歳代					0.03 (0.1)	
年齢 50歳代					-0.03 (-0.1)	
年齢 60歳代					-0.13 (-0.4)	
性別 男性					*	
性別 女性					-0.20 (-0.9)	

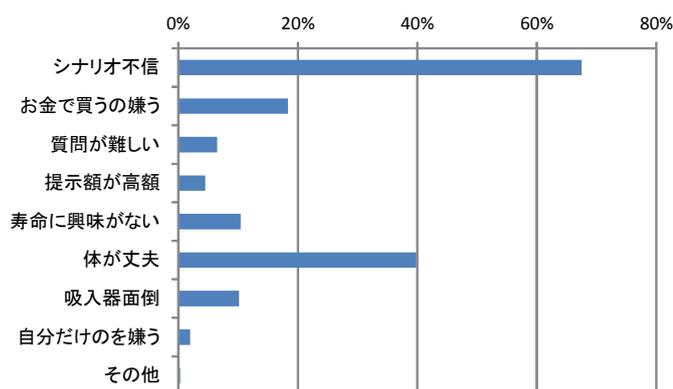
#### (4) 山西省農村部における回答の概要と支払意志額の推定

山西省農村部で行った調査について、北京での調査と同様にモデルを最尤法により当てはめた結果を表(2)-5に示す。データ全体に2パラメータのモデルを当てはめたときの支払意志額の中央値は、1,152元となり北京より金額は小さくなった。しかしながら、山西省農村部は、世帯所得が北京より大幅に少ないことを考慮すると、北京と山西省農村部での支払意志額の差は所得の差ほどは大きくないと考えられる。モデルBは、世帯年収を説明変数に取り入れたもので、推定された係数からは、所得階層が4になるまでは所得が増加するに従い支払意志が強くなる傾向が見られたが、更に所得が高くなると係数は支払意志が弱くなる方向に変化した。ただし、所得階層が中間になるまでの支払意志額が強くなる場所の一部を除きt値は有意とはなっていない。学歴については、高等学校相当卒業のひとは中学校相当のひより支払意志が強くなる傾向が見られたが、大学相当卒業になると中学校相当卒業者と有意な差は見られなかった。北京での調査においては、世帯年収、学歴が高い程支払意志が強いという傾向が見られた一方で、山西省農村部の調査においては年収、学歴共に下位から中間層まで上昇すると支払意志が強くなる傾向が見られたのに対し、さらに上昇すると推定された係数は支払意志が逆に弱くなる方向に変化した。但し、上位層はサンプル数が減少することにより推定における誤差が増加することには注意を要する。

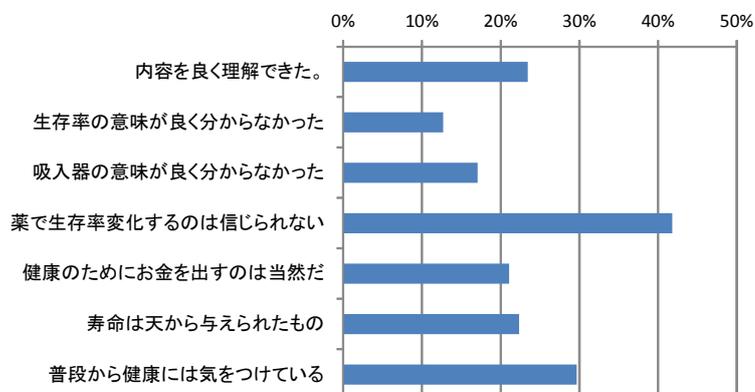
運動習慣については運動習慣が明確にないとした回答者は、支払意志が弱いことが統計的に有意であり、喫煙の有無の影響の統計的有意性が検出されなかったことは、北京での調査と同様であった。

#### (5) 山西省都市部でのCVM

山西省都市部においても、北京、山西省農村部と同様にCVM向けの設問を中心とした調査票により質問を行って回答を得ている。しかしながら、推定された支払意志額の中央値を初めとする分布は、北京、山西省農村部での値より大幅に小さかった。CVM向けの設問では、シナリオと金額を提示して、吸入器購入というシナリオを受け容れるか否かについて提示額を変化させながら3回質問している。2回購入しないと回答した後の3回目の金額は、山西省都市部での調査においては100元～250



図(2)-11 全ての提示額にNoと答えた理由(山西省都市部)



図(2)-12 主設問回答直後の選択(山西省都市部)

元と金額的には少額に設定している。これは、提示額が高すぎるために3回とも支払わないという回答が過大になることを避けることを考慮しての設定でもある。しかしながら、北京、山西省農村部における調査では、3回とも吸入器の購入を行わないとした回答の比率は、提示した金額により、また調査票種別によってはサンプル数が少ないことによるデータの揺らぎがあるものの、4%から37%程度の範囲であったのに対し、山西省都市部の調査においては、48%~70%となっており、1回も吸入器購入をすると答えなかった回答者の比率が急増している。調査においては、3回の質問全てに購入をしないとした回答者に、購入意志がなり理由を尋ね、また全ての回答者を対象にCVMの設問に対する考えを、3回の二肢選択に対する回答を行った後に尋ねている。図(2)-11は、3回の回答共に購入をしないとした理由を、選択肢を提示して回答を依頼したものである。グラフ中での比率は、質問該当者の中で占める率で、複数回答のため合計は100%とはならない。一番多く選ばれた選択肢は、「薬で生存率が変化するという事は信用できないから」というもので、3回とも購入しないと回答したひとりの7割弱のひとが選択していた。次に多く選ばれた選択肢は、「体が丈夫なため病気にかかる心配はないから」というもので、4割程度の選択率であった。なお、この2つの選択肢を同時に選んでいた回答者も2割程度いて、CVMのシナリオにたいして納得しない回答者が、山西省都市部の調査では多かった可能性がある。なお、提示額が異なる調査票に回答分布を比較すると、高い提示額に対しては購入比率が減少する傾向は見られた。図(2)-12は、回答者全員に対して、CVMの設問に対する感想を、設問に回答した直後に選択肢を提示して選んだ結果である。回答は、該当するもの全てを選ぶ形式となっている。設問内容を完全に理解しているという回答の比率は高いとは言えないが、生存率、吸入器の内容を理解できなかったという回答も多くはない。また、健康のためのある程度の経済的負担は許容するという回答が相当数あった。

#### (6) CVMにより推定された支払意志額の値と経済価値との関連について

本サブテーマでは、支払意志額を仮想評価法(CVM)の調査結果に基づき推定を行った。CVMは、シナリオを提示してこれに対する支払意志の有無を尋ねて得られるデータを統計的な分析を行うことにより、支払意志額を推定し、その金額により経済的な価値を推定することになる。

LCAで頻繁に使用されるDALY (Disability Adjusted Life Year; 障害調整生命年)は、YLL (Years of Life Lost due to premature Mortality)とYLD (Years Lived with Disability)の和で定義される。今回の社会調査による研究では、YLDの推定のためのデータを限られたインタビュー時間に得ることは困難であるため、YLLの経済価値の推定を行うこととした。YLDは、障害の重さを死亡が早くなる時間に実質的に換算することにより評価するものであるため、YLLの経済価値が決まると、YLDの経済価値も標準的な換算係数を用いることにより同時に決まることになる。

調査時には、直接的には10年後の生存率の上昇に対する支払意志額を、大気汚染による死亡率上昇の回避を吸入器によって試みることを質問している。提示している死亡率は、何もしない時よりも毎年0.5パーミル減少するとして、性別、年齢別に計算をしている。死亡率が10年間減少することにより余命が延長され、YLLは減少する。これの支払意志額が回答より推定されている。減少するYLLは減少の値は、年齢別の死亡(生存)率から積分計算を行うことにより可能である。

今回の質問文を忠実に解釈すると、図(2)-13に示す様に10年間死亡率が減少し、その後に死亡率が通常の値に戻り継続することになる。10年目以降は、その年毎の死亡率は戻るものの、10年間死亡率が減少したことにより、当初からの生存率は下のグラフに示した様に上昇する。このため、死亡率が減少したことの効果は長期に渡り継続することになる。年齢層にもよるが、YLLの値に影響する積分の値に大きく影響するのは10年後以降の値であることが多い

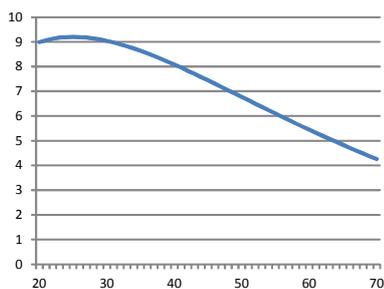
YLLの値の計算にあたっては、

1. 現在価値への換算(利子の計算)
2. 年齢別の重み付けの計算
3. 積分する範囲

にバリエーションがあり得る。

現在価値への換算では、DALYの考え方を提言しているWorld Bank と WHO が用いているDALYでは、生存の価値を年率3%で割り引いている。一方LIMEでは時間割引率を導入していない。時間割引率を導入することの正当性は議論の余地があるものの、若年層における経済価値が、高齢層に比べ異常に高くなることを結果的に抑制する効果がある。

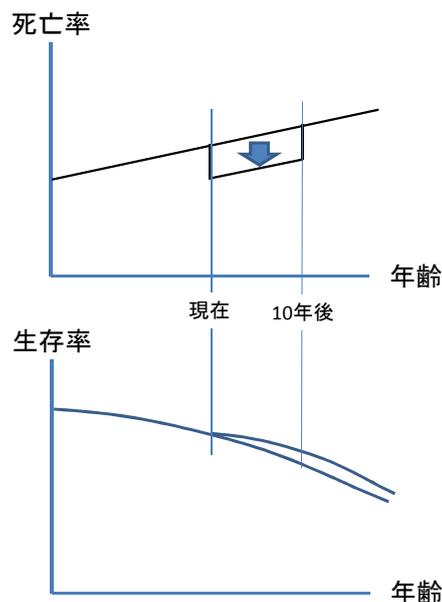
年齢別の重み付けは、元々のDALYでは年齢別の重み付けが行われており、若年、高齢者の重みが低くなる形の関数、 $Y \times \exp(-0.04 \cdot Y)$  が用いられている。ここでYが年齢であり、25歳で重みは最大となる。図(2)-14にこの関数の形を示す。



図(2)-14 DALY計算での年齢別の重み

表(2)-6 DALY値の換算例

時間割引	年齢	提示シナリオのDALY値		元/DALY	
		10年積分		10年積分	
		男性	女性	男性	女性
なし	20歳	0.025	0.025	52,711	52,489
	50歳	0.024	0.024	54,360	53,468
	20-69歳	0.024	0.024	54,459	53,603
年3%	20歳	0.021	0.021	63,044	62,785
	50歳	0.020	0.020	64,948	63,916
	20-69歳	0.020	0.020	65,063	64,072



図(2)-13 死亡率減少とDALY値の変化

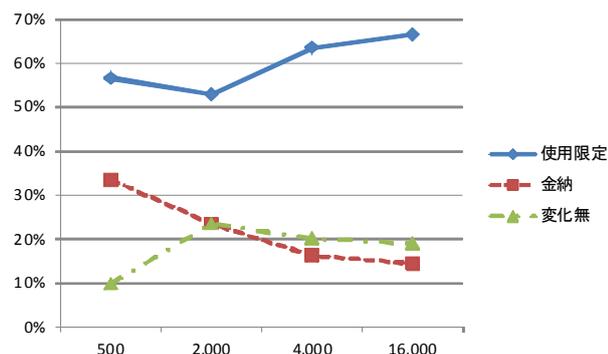
今回の調査では、10年間の死亡率減少に対する支払意志額を質問している。このため、回答者は10年目以降のことより、10年間のことに着目して回答しているとも推定される。積分期間を10年間とし、シナリオに対するYLLの変化を計算し、これに対して北京での調査により推定されたシナリオに対する支払意志額に基づきDALY当たりの金額に換算した結果の例を表(2)-6に示す。ここでYLLの積分期間は10年間としている。年齢、性別によりシナリオにより変化する

YLLの値は変化するが、1DALY当たりの金額は時間割引を考慮すると6万5千元程度となった。なお、表中で20歳から69歳としたものは、originalなDALYで用いられる年齢別の重みを20歳から69歳までにつけた加重平均の値である。

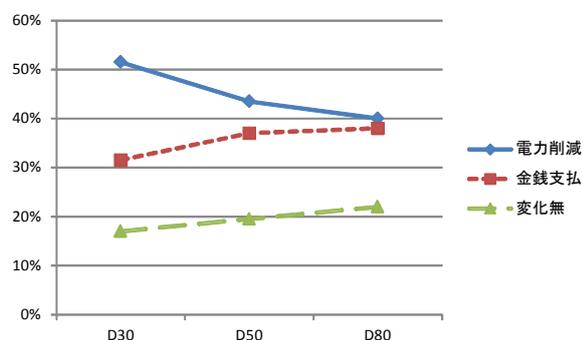
### (7) 利便性と環境、経済的負担へのトレードオフについて

今回実施した調査での主要な設問は、大気汚染による健康被害回避と金銭的負担とのトレードオフを同定するものであった。今回の調査では、豊かさと環境のトレードオフについての設問をいくつか設けた。図(2)-15に北京での調査において自動車の使用制限を強めて大気汚染を改善して、北京オリンピックの時点と同程度にする、自動車を使用する人は毎年一定額を市に納めることにより大気汚染を改善する、現状維持の3つから一番良いものを選択した結果を示す。調査では市への納入額が異なる質問票を複数用いており、横軸に年間納入提示額(単位/元)をとった。納める金額により回答が変化している様子が伺える。北京では、自家用車の使用はナンバーにより交代で曜日によって禁止する規制が行われており、使用制限への抵抗は極端には大きくないと考えられる。提示した金納額が増加するに従い、金納の選択率が減少して、乗用車の使用限定と現状からの変化無しを選択肢を選ぶ率が上昇していることが見られる。

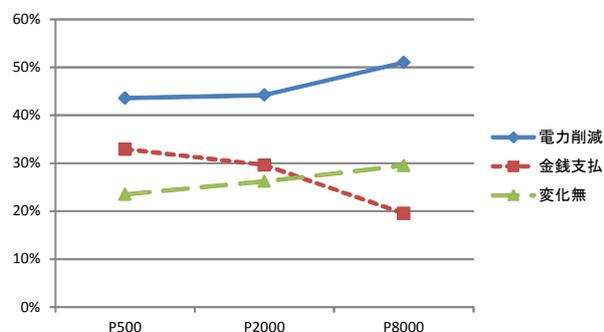
図(2)-16 と図(2)-17 は、自動車の使用制限の代わりに、電力の使用量を削減することと、金銭的負担、現状維持から一番好ましいと考えるものを選択する質問に対する回答分布である。電力使用削減率、金納金額については値が異なる複数の調査票を準備してあり各回答者にはその内ひとつが割り当てられることになる。図(2)-17 は、金納金額が年1,000元として、電力削減率を変化させた時の回答の変化を示したものである。削減率は、30%、50%、80%であり横軸にD30、D50、D80として記した。一番多く



図(2)-15 自動車使用制限と金納の比較



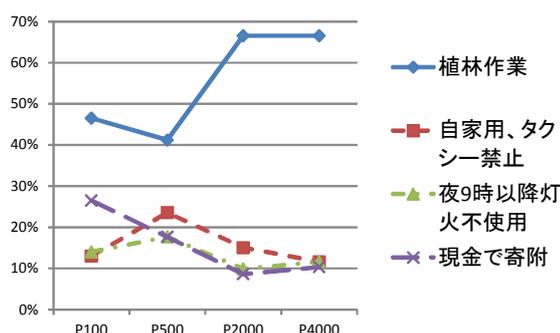
図(2)-16 電力削減と金銭支払(北京/削減率変化)



図(2)-17 電力削減と金銭支払(北京/支払額変化)

選ばれているのは、電力使用量の削減であり、金銭的な負担より省エネルギー活動が好まれるという傾向が図(2)-9で示した回答分布と同様に見られた。しかしながら、削減率が上昇するに従い、電力削減の選択率が減り、他の回答を選ぶ率が増加している様子が伺える。図(2)-17は、削減率を50%に固定して年間支払額を500元、2000元、8,000元と変化させた時の分布の変化を示す。異なる年間支払額に対して横軸にP500、P2000、P8000と記した。支払金額が増加するに従い、金銭的な支払への選択肢が減少し、電力削減或いは変化無を選択する比率が上昇している。

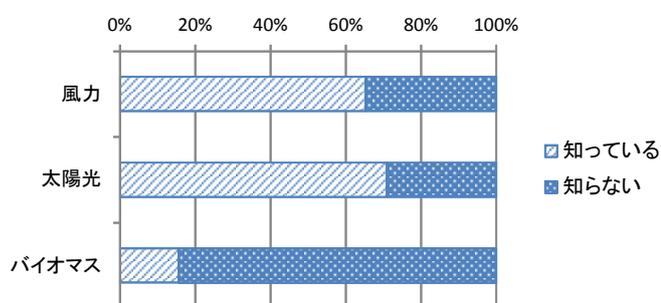
図(2)-18は、自家用車不使用、電力使用量削減よりも積極的な行動と金銭負担を行うかの質問への回答分布である。回答者には、年1週間泊まりがけで植林作業を行う、自家用車・タクシーの使用が禁止される、夜9時以降の灯りの使用が出来なくなる、現金で寄附をする、の4つの選択肢からひとつを選ぶことが環境保護のために必要になった時、どれが一番好ましいか質問している。年間寄附の提示額は、質問票により複数金額準備した。図では、横軸に年間寄附額100元、500元、2,000元、5,000元をとり、各選択肢の選択率を示した。一番多く選ばれていたのは、植林作業に参加するというもので、年1週間泊まりがけという大きな負担であるにもかかわらず、多くの回答者がこれを選択していた。現金で寄附という選択肢を選ぶ率は、提示金額が500元から2,000元以上に増加すると減少していく傾向が見られた。なお、図中で金額が500元に対する選択率は、サンプル数が34件と少ないためばらつきの影響が大きい可能性がある。他の提示額は、それぞれ200件以上の回答者に対して提示している。



図(2)-18 環境負荷低減行動と支払行動

## (8) 技術への受容性について

2012年の調査では、技術の受容性についての分析のため、再生可能エネルギーである風力発電、太陽光発電、バイオマスエネルギーに対する認識について質問した。エネルギーシステムに対する考え方を質問する場合、ある程度の知識がないと回答内容の信頼性が危惧されるため、各エネルギーシステムについて、少しでも知っているか否かを質問し、少しでも知っていると答えた回答者に技術毎の認識について質問を行う手順とした。図(2)-19に3つのエネルギーシステム毎に知っているか否かの質問に対する回答分布を示す。風力発電、太陽光発電については、知っ

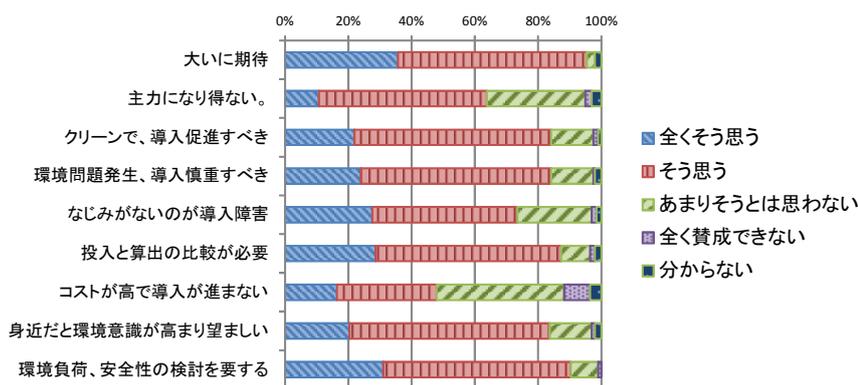


図(2)-19 再生可能エネルギーへの認識

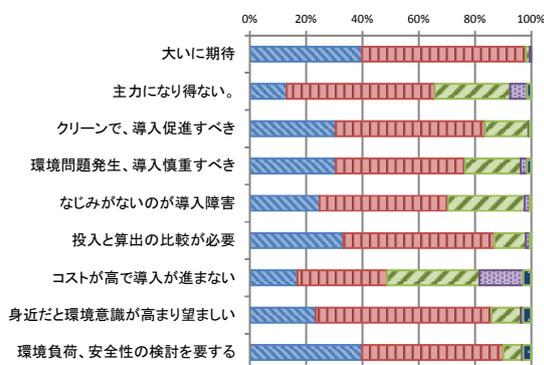
ているという回答が7割程度で、太陽光発電の方が若干知っているとしている回答者が多かった。一方、バイオマスエネルギーについては、知っているという回答者が15%程度で認知度は低かった。

風力発電、太陽光発電、バイオマスエネルギーシステムの3種のエネルギーシステムに対して、それぞれに対する認識への質問の回答をそれぞれ、図(2)-20、図(2)-21、図(2)-22に示す。なお、図(2)-21、図(2)-22の凡例は、図(2)-20と同じである。質問は、「将来のエネルギー源として大いに期待できる。」、「発電に利用可能な資源量に限りがあり、エネルギー供給の主力になり得ない。」、「クリーンなエネルギーであり、導入を増やすべきである。」、「土地利用、景観、騒音等の環境問題を発生させるため、導入は慎重にするべきである。」、「一般になじみがないのが導入の障害であり、さらに普及させるべきである。」、「システムへの投入エネルギーと産出エネルギーをより正確に調査比較して大量導入の是非を決めるべきである。」、「環境に良くても、コストが高いため導入が進まないだろう。」、「身近に設置されていると環境に対する意識が高まるので望ましい。」、「環境への負荷、安全性について慎重に検討する必要がある。」の9つである。質問の順番は、回答者の覚醒度を上げるために再生可能エネルギーシステムに好意的な設問と否定的な設問を混在させた。回答者は総じて再生可能エネルギーに好意的に考えていた。研究分担者が当テーマに先行して日本国内で実施した同様な調査<sup>5)</sup>では、太陽光発電に対する期待が風力発電より強い傾向が見られたが、現在までの分析ではエネルギーシステムによる差異は検出されていない。

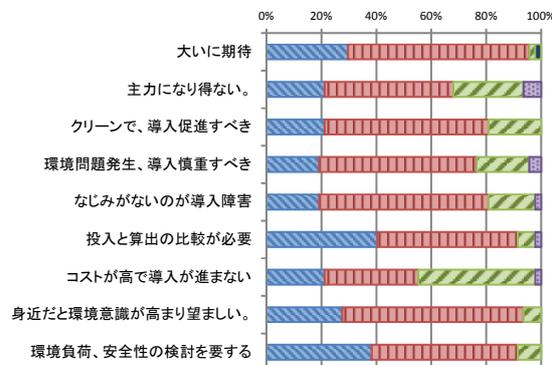
再生可能エネルギーシステムへは好意的な回答者が多いため、CDMプロジェクトにおいてこれらを導入することは、現地においてのコスト負担等の条件が満たされるならば、比較的スムーズに進むことが期待される。



図(2)-20 風力発電への認識



図(2)-21 太陽光発電への認識



図(2)-22 バイオマスエネルギーへの認識

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

環境価値の妥当な経済的な評価を行うために、中国において支払意志額調査を実施した。大気汚染による健康被害回避のための支払意志額のおおよその値が推定され、これに影響を及ぼす要因が判明した。このことは、環境評価に係わる科学的基礎的知見の整備に貢献すると共に、得られたデータの今後の分析により、所得の急速な上昇途上であり、自家用車保有の増加によりエネルギー消費の急増とこれに伴う環境負荷の増大が起こりうる、中国における環境意識形成についての知見を与えることが期待される。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

平成22年度に、環境省 水・大気環境局 水・大気環境国際協力推進室が(株)富士通総研に委託して実施しているコベネフィット型温暖化対策・CDMの推進に関する検討会において、調査の中国での実施と分析について報告を行い、資料として活用された。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

発展途上国での環境意識、環境の経済価値についての妥当な値を推定することにより、CDM等の発展途上国が評価範囲に含まれる環境及び健康の経済評価を通しての、二国間オフセット・クレジット制度を含む柔軟性措置の副次的効果を通しての普及促進が期待される。また、中国国内の環境意識についての基礎的データのひとつとして、今後の環境行政における二国間協力推進に資することが期待される。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 野村 昇：日本エネルギー学会誌，90，1，51-58（2011）  
「上海市における健康リスク経済評価の調査」

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 野村 昇：第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2011）

- 「上海市における環境意識への影響要因の分析」
- 2) 野村 昇：第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「CDM評価のための大気環境価値の調査」
  - 3) 野村 昇：第7回日本LCA学会研究発表会(2012)  
「CDM対象国でのインパクト評価のための大気環境の経済価値換算」
  - 4) 野村 昇：第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2013)  
「山西省農村部における環境価値意識の調査」
  - 5) 野村 昇：第8回日本LCA学会研究発表会(2013)  
「CDM ホスト国における大気環境の経済価値調査」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) 伊坪 徳宏, 稲葉 敦; ライフサイクル環境影響評価手法—LIME - LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, (2005), 産業環境管理協会
- 2) J. K. Hammitt and Y. Zhou; The Economic Value of Air-Pollution-Related Health Risks in China: A Contingent Valuation Study, *Environmental & Resource Economics*, 33 (2006), 399-423
- 3) Q. Hou, X.Q. An, Y. Wang, J.P. Guo: An evaluation of resident exposure to respirable particulate matter and health economic loss in Beijing during Beijing 2008 Olympic Games, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 4026-4032
- 4) 林 希一郎: 中国の石炭工業都市の大気環境問題と対策 -中国山西省陽泉市-, 三菱総合研究所 所報 No. 35 (1999) 4-21
- 5) 野村 昇: 自然エネルギー電力への支払意志額についてのCVM調査, *エネルギー・資源* 23 (2002) 282-287
- 6) 野村 昇: タイ王国におけるバイオマス燃料についての認識についての調査, *日本エネルギー学会誌* 91(2012) 1007-1015

### (3) 新オフセット・メカニズムにおける緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価

(独) 産業技術総合研究所

エネルギー技術研究部門 エネルギー社会システムグループ 西尾匡弘、遠藤栄一

<研究協力者>

長崎大学 環境学部

吉田謙太郎

東京都市大学 環境情報学部

伊坪徳宏、村上佳世

日本福祉大学 健康科学部

坂上雅治

産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門

梁建国、辻本久予、時松宏治

平成22～24年度累計予算額：27,301千円

(うち、平成24年度予算額：8,121千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

コベネフィットを考慮した温暖化緩和策の検討が必要とされながら、アジア広域において環境影響の経済評価を可能とするような環境影響評価手法は見当たらない。そこで、1つの方策として、日本におけるライフサイクル影響評価手法(LIME)をアジア広域に適用可能に修正するというアプローチを本研究では採用した。具体的には、本サブテーマでは、LIMEの統合化に用いる限界支払い意思額をアジア広域において推定するための社会調査を複数地点で実施するとともに、アジア広域に展開可能な便益移転関数の作成を試みることを目標とした。これにより、中国を特に重点的に深耕するサブテーマ1および2との連携を意識しつつ、サブテーマ4(アジアGOALモデル)の対象地域(日本、中国、東南アジア、インド)と対象期間(~2030年)に対応可能とすることを目指しつつ、統計学的な精緻さを志向するサブテーマ2との補完関係をはかった。

平成22～24年度において社会調査方法を中心に検討し、予備的な社会調査を実施することで、社会調査方法をほぼ確定することができた。中国、インド、東南アジアの11都市において、男女同比率、20代～40代の各地点110程度のサンプル数としたインターネット調査を実施した。一部の都市ではp値が10%を超える、統計的な有意性にやや劣る属性も見られたが、多くの都市の属性では統計的有意性が概ね良好であったことがわかった。

取得した社会調査データを用い、限界支払い意思額を被説明変数とし、回答者や調査都市の属性や調査方法などを説明変数とする関数形構築を、ステップワイズ法による重回帰分析により試行し、関数形から得られる推計値と実測値との比較を行った。その結果、石炭使用量や自然保護区割合等が有効な説明変数であることが判った。推計値と実測値の差分の絶対値を実測値で除した誤差率を都市別4属性別に求めたが、そのうち9割は50%を下回った。得られた限界支払い意思額のサブテーマ4への適用方法を検討し、他のサブテーマにおけるコベネフィットの推定を可能とした。

#### [キーワード]

ライフサイクルアセスメント、インターネット調査、コンジョイント分析、限界支払い意思額、便益移転

## 1. はじめに

アジア地域は、開発途上地域および急激な経済成長を遂げる地域を抱えるとともに、国際社会において貿易面での存在が年毎に重要になってきている。今後予想される急速な経済発展に鑑みると、世界の温室効果ガス(GHG)排出量のうち、全体の半分近くを占めるアジアからの排出量の割合は、さらに拡大すると見込まれる。2050年までに世界全体の排出量を半減させるような低炭素社会を構築するためには、アジアにおける排出削減が大きな鍵を握る。様々な貿易製品・技術・サプライチェーンなどに加え、温暖化対策の技術移転の必要性が叫ばれてきたことから、低炭素社会構築推進の流れはアジア内の各地域にも拡大している。

一方、アジア地域では温暖化対策よりは、大気・水質・土壌汚染などローカルな環境問題が深刻になっている国が多く、それらの解決が喫緊の課題となっている。また、こうしたローカルな環境問題の中には、決してローカルに留まるものではなく、PM2.5に代表される大気汚染物質の越境のように、我が国の人間健康や農作物等に大きな影響を及ぼし始めている<sup>1)</sup>。

そのため、経済発展を行いつつ、大気汚染と地球温暖化の両方の問題の同時解決を図る、いわゆる、コベネフィットの考え方が重要視されるようになった。例えば気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書第3作業部会第12章(IPCC-AR4-WG3-Ch12)<sup>2)</sup>においては、従来の経済開発政策や廃棄物資源管理に、温暖化緩和策の視点を織り込むことで、温暖化緩和も期待されるコベネフィットにつながると指摘している。

しかしながら、アジア広域において環境影響の経済評価を可能とするような環境影響評価手法は見当たらないのが現状である。まず、アジアにおける大気汚染の計測<sup>3)</sup>と、それによる健康影響<sup>4)</sup>を定量化する研究は行われている。こうした研究は、その健康被害は求められるが、CO2排出削減の対策がもたらす副次的便益の評価方法を提示するものではない。

コベネフィットを研究対象とする我が国における先行研究は、中国のエネルギー需給の詳細分析<sup>5)</sup>か、大気汚染越境を対象としたもの<sup>6)</sup>であり、前者はアジア広域(中国、東南アジア、インド)ではなく、後者は温室効果ガスよりも東アジアの大気汚染物質に重点が置かれている。

コベネフィットの評価事業<sup>7)</sup>もあるが、実施事業主体により評価手法はまちまちである。アジアにおける環境政策の展開のためには、サイト毎ではなくアジア広域におけるコベネフィットを把握することが必要である。そのためは、評価地点に寄らない統一的なコベネフィットの評価手法の開発が必要とされる。

そこで、1つの方策として、日本におけるライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)をアジア広域に適用可能に修正するというアプローチを筆者らは進めている。LCAでは、資源消費や環境負荷物質等の排出が、被害を受ける対象(人間健康、農林水産物および鉱産物資源、生物多様性、植物の一次生産力)に与える被害を定量化している。定量化は、排出量単位あたりで行われており、貨幣単位あるいは非貨幣単位の両方で提示される。貨幣単位の場合は経済評価係数、非貨幣単位の場合は被害係数と呼ばれる。被害係数に、限界支払意思額(MWTP: Marginal Willingness To Pay)乗じることで経済評価係数になる。

日本におけるLCAで多用される日本版被害算定型影響評価手法(LIME: Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)<sup>8)</sup>における被害係数および経済評価係数は、日本の現状被害を対象に開発された。CDMプロジェクトは、発展途上国において長期間を対象とするため、日本の被害係数・経済評価係数をそのままアジア地域に適用することは必ずしも適切では

ない。そのため、日本の現状を対象として開発されたLIMEの被害係数・経済評価係数を、アジアの将来時点に適用可能とするために、修正を行う必要がある。

## 2. 研究開発目的

そこで、本サブテーマ3では、中国を特に重点的に深耕するサブテーマ1および2との連携を意識しつつ、サブテーマ4（アジアGOALモデル）の対象地域（日本、中国、東南アジア、インド）と対象期間（～2030年）に対応可能とすることを旨とする。それにより、統計学的な精緻さを志向するサブテーマ2との補完関係をはかる。同時に、東京都市大学において別途予算において実施している、世界を対象とした類似調査<sup>9)</sup>との連携も図る。また開発にあたっては、政策担当者が指向する行政ニーズに簡易に応えられるような評価手法の開発・検討を意識する。

本サブテーマ3では、コベネフィットを推計するために、ライフサイクル影響評価モデル（LIME）をアジア広域に適用する。適用のためには日本向けに開発されたLIMEの被害係数および経済評価係数をアジア広域に適用可能とする必要がある。本サブテーマでは、LIMEの統合化に用いる限界支払い意思額をアジア広域において推定するための社会調査を複数地点で実施するとともに、アジア広域に展開可能な便益移転関数の作成を試みることを目標とする。

便益移転とは、過去の環境評価研究をできる限り活用し、推定にかかる手間を削減することを目的とした手法である。たとえば、類似の地域で類似の政策が実施された場合、類似の便益が予想される。このとき、過去の研究として類似の地域の類似の政策が評価されているならば、その結果を利用することにより、改めて評価する手間を省くことができる<sup>10-12)</sup>。

便益移転には4つのタイプがある<sup>13)</sup>。1つ目は、原単位移転（Unit value transfer）である。この手法は、同等の政策にまつわる便益測度（支払意思額（WTP）等）は一定と想定され、ある一つの研究による推定、いくつかの研究による推定の平均、あるいは代表的研究を特定しその結果を用いる方法である。

2つ目は関数移転である。過去に推定された行動選択の分析により得られた便益関数によって移転される。便益関数はしばしば左辺にWTP、右辺に地域特性や社会経済特性などWTPの違いを説明する変数がおかれる。従って、原単位移転とはことなり、地域によってWTPが異なることを前提としている。移転手法として妥当性がもっとも高いという証拠も挙がってきている<sup>14)</sup>。

3つ目はメタモデル移転である<sup>15)</sup>。過去の研究に関するメタ分析によりWTPを規定する要因を特定した上で、それら要因を何らかの形で考慮して新規地域に当てはめるものであるが、メタ分析は必ずしも経済学的な裏付けはない。

4つ目は構造モデル移転である。これはSmithら<sup>13)</sup>により開発された手法であり、個人の選択行動から個人の選好構造を特定し、WTPを規定する所得や相対価格といった要因を同時に分析することで便益測度のトレードオフを明らかにする。

アジア広域にわたってほぼ同時期に社会調査を実施し、支払い意思額を推計する学術研究は類例がない。殆どは国内の特定サイトを対象としたものである。一国内の全国規模<sup>16)</sup>でも珍しく、複数国を同時に調査対象とする研究<sup>17)</sup>となると極少である。また、国境をまたがった複数国で同時に社会調査を実施し、便益移転を試みた研究事例も極めて少ない<sup>18-19)</sup>。

## (1) 調査経緯

平成22年度は社会調査方法を中心に検討し、予備的な社会調査を実施することで、社会調査方法をほぼ確定することができた。平成23年度は調査票の検討を中心に実施し、実際に複数都市における社会調査に複数の調査票を使用し、限界支払い意思額のデータ取得を試行した。平成24年度は、過去2年度の試行を踏まえて調査票を1種類に絞り、最終目標とする便益移転関数の構築のために、調査対象国数の拡大と、調査既実施国における調査都市数の補強を図るため、調査地点を6都市（マニラ、デリー、重慶、北京、太原、クアラルンプール）とした。

## (2) 調査方法の検討

調査方法の検討項目は、調査都市の代表性の確保の有無、調査地点（国、都市、数）、調査方法（訪問面接、会場調査、インターネット、郵送法、電話等々）、サンプル数、属性（性別、年齢、年収）への割付、金銭提示方法（税、寄付）と金額設定、被害度合い（現状における被害、将来的な被害予測）、など多岐に渡る。

### 1) 代表性の担保

社会調査において最初に問われるのが標本抽出の方法と抽出されたサンプルが、調査エリアを代表するか、というものである。代表性をどのように考慮するかは、調査内容、予算、調査時間、調査会社の能力などの制約に依存する。

環境を対象とした支払意思額の調査は、一般に調査内容が極めて難解である。本来的には環境難民とされる人々も対象とするべきところ、ある程度の（途上国においては相当ハイレベルの）リテラシーが要求されるため、回答可能な対象も自ずと限定される。予算は言うまでも無く、調査方法、サンプル数、調査地点、選択する調査会社のクオリティも制約要因になる。World Value Survey<sup>20)</sup>のように一ヶ国に何千万円もかけて多数の国において実施するのでなければ、各国の代表性の確保や国家間比較は困難である。

本研究における社会調査は、あくまでLCAのウェイトニングにコンジョイント分析を使っており、そのウェイトニングに海外の値が必要なために実施するものである。値を得るために、諸要因を捨象するのは致し方なく、次善の策として代表性の担保は断念した。

### 2) 調査方法

一般的には訪問面接、会場調査、電話調査、郵送法、インターネット調査などが挙げられる。しかしながら、今回の調査のベースとなる2006年度の調査票<sup>21)</sup>では、そもそも電話調査は回答不能である。本来的に望ましいのは、訪問面接か会場調査である。調査票の難解度に鑑みると、郵送法とインターネット調査においては、調査票を簡略化する必要がある

日米欧以外ではインターネット調査で代表性を確保するのは困難である。インターネット普及率は豪州では6~7割程度、マレーシアは約65%で、代表性の確保を考えるならば、最低でもこの程度の普及率は必要とされる。タイやベトナムは20%程度、中国内陸部とデリーは更に低い。サブサハラや旧ソ連東欧は貧富の格差が大きく、特定の富裕層しかインターネット調査の対象になり得ない。

インターネット調査にもメリットはある。訪問面接や会場調査と比べてはるかに安価である。

例えばマレーシアだと、クアラルンプールのような首都以外でも、調査可能対象となる。郵送法に比べインターネット調査は手間が簡略化される。ネット調査は今まで問題視されていたが、従来の方法と遜色が無い、とも言われ始めている。

### 3) 金銭提示の方法と額の設定

回答者に支払って良い金額を問う場合、日本は年収だが海外では月収に対する割合を%で訊くことが多い。この場合、答えた本人の月収の額はわからないから、尋ねた国の平均的な月収を各国の白書から調べて、金額を推測するしかなく、コンジョイント分析には適さない。2006年調査は日本だったので税額で尋ねているが、税は国によって制度も政府に対する信頼も大きく異なる。納税に対する意識（政府に対する信頼度）が高いのは日本とスウェーデンだけである。日本の源泉徴収は世界では特異である。納税よりは寄付など、より汎用性が広い金額提示が望まれる。

### 4) 調査方法の確定

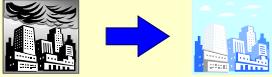
本研究固有の事情として過去の社会調査地点や環境影響評価地点に関する他サブテーマとの関連、予算制約を考慮して、調査都市の代表性を諦めてインターネット調査とし、男女同比率、20代～40代の各地点110程度のサンプル数（プレ調査を3世代×2性別に各2サンプルで合計12サンプルを基本、本調査を100サンプル）として社会調査を実施した。インターネット調査を採用したことで、調査都市の代表性は満足されないが、学歴やリテラシーが一定の層に限られたことで、環境被害に関する説明と設問を理解した回答になっていることが確認された。一方で、回答者は高所得階層に偏る傾向が見られた。

### (3) 調査票の作成

調査票は、環境被害のシナリオ説明とコンジョイント設問の説明と設問、個人属性設問からなる。言語は現地語（都市により複数言語）と英語を用意した。図(3)-1に調査票のサンプルを示す。

### 人間の健康

人間が生きてゆくためには、劣悪な環境ではなく、良い環境が必要です。



環境問題による健康被害を防ぐには、薬や医療、公衆衛生の整備が必要です。



環境問題によっても、人間の健康は触まれています。

健康への被害は、死亡率の増加や寿命が短くなることで表されます。環境問題により、世界全体では毎年一人あたり平均約5日、アジア地域では、世界の約3倍である毎年約16日の寿命が、環境影響によって失われています。世界全体で100人が被害を受けるとすると、そのうち37人がアジア地域です。

この状態が50年間継続したら、世界全体で一人あたり平均約8か月分が、環境問題が原因で寿命が短くなります。

**【第1問】**  
選択肢1から4のうち、最も望ましいものに、1つだけ○を付けて下さい。

	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4
人間健康の被害量	被害量0 (100%削減)	被害量0 (100%削減)	被害量25 (75%削減)	被害量100 (被害放置)
人間の生活に必要な資源の被害量	被害量25 (75%削減)	被害量0 (100%削減)	被害量50 (50%削減)	被害量100 (被害放置)
生物の被害量	被害量50 (50%削減)	被害量0 (100%削減)	被害量0 (100%削減)	被害量100 (被害放置)
植物の被害量	被害量25 (75%削減)	被害量75 (25%削減)	被害量50 (50%削減)	被害量100 (被害放置)
支払い額 (毎年、1世帯あたり)	1.5万円	2万円	1万円	資金提供はしない(0円)

図(3)-1 使用した調査票の例

### 1) 環境被害のシナリオ説明

LIMEのフレームワークでは4つの保護対象（人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産力）を属性としているため、環境被害のシナリオ説明はこれら4属性について行った（平成22年度は回答への煩雑さを緩和するため社会資産を除外した）。説明内容は以下の4項目とした。

- ・ 保護対象の説明。特に、私達人間と、保護対象との関係。
- ・ その保護対象が、環境問題により、被害を受けていること。
- ・ 被害の現状（世界レベル、地域レベル）。
- ・ 無対策のままでは、今後、被害が拡大すること。

環境被害の量は東京都市大における検討結果に依拠し、世界全体およびアジア地域における被害量を記述した。

### 2) コンジョイント設問

コンジョイント設問に入る前に、回答者の事前練習のために、次の設問と説明を行った。

- ・ 4つの保護対象を回答者はどの程度重要と思うか、大変重要～重要ではない、の5段階の選択肢から回答を求めた。
- ・ 4つの被害の現状を表形式で整理し、政策的手段により被害を軽減可能と説明。
- ・ 政策の選択肢と、それによる被害軽減を示す図の読み方を説明し、その理解度を確認する設問への回答を求めた。

その上で、コンジョイント分析の設問に移った。設問は8問とした。直行計画から作成した全16問から、回答者によってランダムに8問が表示されるように設定した。選択肢は現状維持を含めた4選択肢とした。プロファイルデザインは、コンジョイント分析用ソフトウェアにより得られた直交表を用いたが、不整合な組合せが生じる場合には、必要最小限の修正を極一部に加えた。

被害量と被害軽減量とが把握し易いように、「被害量〇〇（▲▲%削減）」を記すだけでなく、10×10のドットでも表示した。ドットは、被害量を色付き、軽減された被害量を色抜き、により表示した。現状維持の場合は「被害量100（被害放置）」、「支払わない（0円）」と表記した。

金額属性は、「寄付」「信頼出来る国際機関への資金提供」「税金」を試行し、最終的に「一世帯あたり税金（年額）」とした。金額属性の水準の設定は最難問である。設定は、2006年度に日本において実施した調査票における金額水準に対して、対象都市は何分の一にするか、という考え方をとった。現地における日用消費財や交通費、飲食費等の物価水準、現地の購買行動に関する現地駐在員による報告、調査会社が対象とするインターネットモニターの所得階層、都市の生産力（Gross Regional Product; GRP）<sup>22)</sup>や物価・賃金等の報告書<sup>22)</sup>、10サンプル程度の予備調査結果から、総合的に判断した。最終的に採用した提示金額を表(3)-1に示す。

表(3)-1 提示金額（対日本水準）

ジャカルタ	60%
シンガポール	26%
ホーチミン	24%
上海	55%
バンコク	13%
デリー	57%
マニラ	19%
重慶	62%
北京	148%
太原	148%
クアラルンプール	89%

### 3) 個人属性

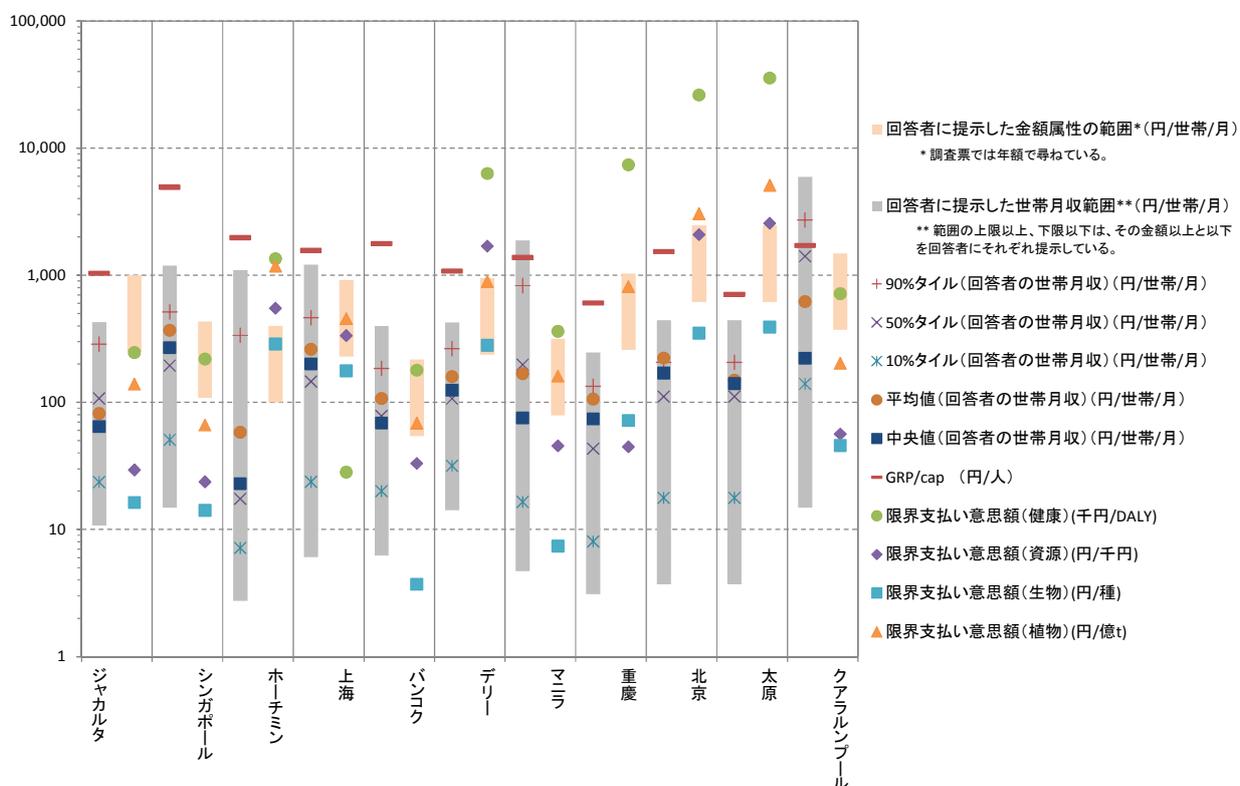
性別、年齢層、家族構成、学歴、職業、所得階層（世帯月収）に関して回答を求めた。

## 4. 結果及び考察

### (1) 回答者属性

平均年齢は32.9～34.8歳、有配偶率67.6～93.2%、有職率59.3～96.0%であった。また大卒以上の割合が8割を下回る都市は3都市のみであり、殆どの都市はそれを超えていた。職業別では、会社勤務（会社役員、管理職、会社員、パート）が2都市を除き約6～8割であり、残りは公務員等（公務員、教職、医者・弁護士等の専門職）と、その他（学生、主婦、退職者、無職）であった。

回答者の世帯月収の分布を図(3)-2の各都市の左半分に示す。網掛けは「回答者に提示した世帯月収の範囲」である。この範囲の上限以上、下限以下は、その金額以上、その金額以下、と回答者に提示している。●、■、+、×、\*、—はそれぞれ、平均値、中央値、90パーセンタイル値、50パーセンタイル値、10パーセンタイル値、一人あたり都市内総生産(GRP/cap)である。



図(3)-2 (左半分) 回答者に提示した世帯月収の範囲と、その分布、GRP/cap  
(右半分) 回答者に提示した金額属性の範囲と、限界支払い意思額の分布

### (2) 限界支払い意思額

#### 1) 結果

限界支払い意思額の値は、様々な改善を試みながらも統計的に有意な結果が得られなかった都市も一部にはあったが、多くの都市において概ね統計的に有意に得られた。限界支払い意思額の結果を図(3)-2の各都市の右半分に、t値とp値を表(3)-2に示す。

表(3)-2 各調査都市における限界支払い意思額の推計のt値、p値

都市名	t値					p値				
	金額	健康	資源	生物	植物	金額	健康	資源	生物	植物
ジャカルタ	-5.1	12.5	3.9	4.4	5.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
シンガポール	-8.6	8.9	2.6	2.7	1.9	0.00	0.00	0.01	0.01	0.06
ホーチミン	-2.8	10.3	8.7	13.0	12.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
上海	-1.3	0.3	6.6	8.3	7.2	0.21	0.80	0.00	0.00	0.00
バンコク	-4.1	9.6	4.4	1.4	4.2	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
デリー	-1.7	7.3	5.6	4.9	3.6	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
マニラ	-3.0	16.4	5.3	1.2	5.1	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00
重慶	-2.1	23.0	0.3	3.4	6.5	0.04	0.00	0.75	0.00	0.00
北京	-2.1	21.2	4.2	3.7	7.1	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
太原	-2.0	20.1	4.0	3.3	9.4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
クアラルンプール	-4.8	12.8	2.9	3.8	2.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図(3)-2の各都市の右半分に示す網掛けは「回答者に提示した金額属性の範囲」（同図左列網掛けとは異なりこの範囲で提示）、各都市右列の●◆▲■は4属性毎の限界支払い意思額である。表(3)-2から、一部の都市の属性ではp値が10%を超える、統計的な有意性にやや劣る結果も見られたが、多くの都市の属性では統計的有意性が概ね良好であったことがわかる。

単位が異なるので絶対値の大小関係の比較は出来ず、都市間の相对比较になるが、図(3)-2の限界支払い意思額（各都市右列の●◆▲■）は、中国3都市（重慶、北京、太原）・デリー・ホーチミン以外は、回答者に提示した「世帯月収の金額」「金額属性」の範囲に概ね入っているが、中国3都市・デリー・ホーチミンではその範囲をかなり逸脱する、高い限界支払い意思額を示した。

特に、中国3都市の世帯月収の平均値（左列網掛け内の●）は、同じく回答者の世帯月収の90パーセントに近いことから、提示した世帯月収範囲の上位、あるいは、それ以上の世帯月収のモニターが多く回答したことが推察される。実際、北京では提示金額の範囲の最高額（網掛け部分の上限）を超える世帯所得であると回答した割合が、全サンプルの1/4にもなった。調査会社が把握したインターネットモニターの所得階層を大幅に超える所得層である。調査会社保有の全モニターと回答者の所得階層の乖離は、インターネット調査の課題の1つである。

H24年度に実施した中国3都市における支払い意思額が高い理由としては、回答者の所得階層や、提示した金額属性水準が高いことにあると考えられるが、PM2.5に代表される最近の大気汚染も要因の1つである可能性も考えられる。また、文化的背景も無縁ではないと推察される。2005～2006年に実施されたWorld Value Surveyの一部を整理した書籍<sup>20)</sup>によると「環境汚染防止のための増税を容認するか？」という質問に賛成する割合は、中国は61.9%と同書掲載の調査対象25ヶ国中上位6位と、比較的高い（1位はメキシコで69.2%、2位はスウェーデンで68.4%、日本は46.0%で15位、ドイツは25.0%と19位）。

## 2) 回答者属性と限界支払い意思額との関係

有意水準が高いジャカルタとシンガポールを例に、属性毎の限界支払い意思額の分析を試みた。元々100強のサンプル数であるので、属性毎の分析ではこの半分以下になるため、極度に少ないサンプル数での分析による結果と理解されたい。

表(3)-3は、ジャカルタにおける分析結果の有意水準を示したものである。全体（100強のサンプル数）では全属性が1%水準で有意であったが、半々に分けると（男女、年収）一部は有意水準が5%に下がり、年代のように3区分では当然のことながら有意水準が著しく低下する。

表(3)-3 ジャカルタにおける属性別コンジョイント分析の有意性水準

	全体	性別		年代			年収	
		男	女	20歳代	30歳代	40歳代	5k\$未満	5k\$以上
金額	1%	1%	1%	無	1%	1%	1%	1%
人間健康	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
資源	1%	5%	1%	1%	5%	無	5%	1%
生物種	1%	1%	1%	5%	10%	1%	5%	1%
植物成長	1%	1%	1%	1%	5%	1%	1%	1%
サンプル数	112	56	56	37	37	38	52	60

表(3)-4は、ジャカルタにおける属性別の（1単位、あるいは、100%削減に対する）限界支払い意思額を示したものである。性別の違いで見ると全般的に女性の方が男性よりも限界支払い意思額が高い。年齢層で見ると被害属性により傾向が異なるものの、若年層の方が相対的に高い限界支払い意思額を示す傾向が見られた。年収層では平均より高い層は、低い層に比べて限界支払い意思額が明白に高い。

表(3)-4 ジャカルタにおける属性別の限界支払い意思額

	全体	性別		年代			年収	
		男	女	20歳代	30歳代	40歳代	5k\$未満	5k\$以上
人間健康	1,504.0	1,237.5	1,912.6	3,778.0	948.3	1,535.7	1,314.0	1,758.7
資源	475.5	364.5	650.1	2,031.5	306.0	161.8	362.1	640.4
生物種	531.8	481.2	640.0	1,048.7	252.8	790.1	312.8	822.5
植物成長	809.0	720.8	945.1	2,110.6	414.7	941.9	637.7	1,043.2

表(3)-5は、シンガポールにおける分析結果の有意水準を示したものである。元々全数で10%水準で有意であった植物の属性に限らず、金額および人間健康に関する属性以外の多くで有意水準が極めて低下し、1%水準での有意性を保ったのは年収5千シンガポールドル以上の所得層における資源属性のみであった。

表(3)-5 シンガポールにおける属性別コンジョイント分析の有意性水準

	全体	性別		年代			年収	
		男	女	20歳代	30歳代	40歳代	5k\$未満	5k\$以上
金額	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
人間健康	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
資源	1%	5%	無	無	10%	無	無	1%
生物種	1%	1%	無	5%	5%	無	無	5%
植物成長	10%	無	10%	無	無	無	無	5%
サンプル数	112	56	56	38	38	36	56	56

表(3)-6は、シンガポールにおける属性別の（100%削減に対する）限界支払い意思額を示した

ものである。有意水準が低いため結果は参考程度であるが、性別と年収の多寡の違いは属性により結果は異なる。世代については年代が上がれば人間健康は上昇するが、他は逆に低下する。

表(3)-6 シンガポールにおける属性別の限界支払い意思額

	全体	性別		年代			年収	
		男	女	20歳代	30歳代	40歳代	5k\$未満	5k\$以上
人間健康	227.5	207.3	246.9	139.7	194.3	363.2	253.1	219.8
資源	65.1	74.8	56.2	73.3	68.0	56.8	41.6	79.5
生物種	66.2	90.9	41.9	107.4	85.0	6.0	75.9	59.2
植物成長	55.5	32.3	76.3	64.1	50.1	39.4	34.3	67.2

### (3) 便益関数移転

取得した限界支払い意思額を被説明変数、調査都市の属性などを説明変数とする関数形構築を、ステップワイズ法による重回帰分析により試行し、関数形から得られる推計値と実測値との比較を行った。その結果、石炭使用量や自然保護区割合等が有効な説明変数であることが判った。また、推計値と実測値の差分の絶対値を実測値で除した誤差率は、全調査都市4属性のうち9割程度が50%を下回る結果となった。50%を下回るというのは文献<sup>18)</sup>にあるように、国境を越えた便益移転としては政策的にも利用可能であることを意味する。便益移転関数を用いることで調査対象外の都市や地域における4属性の限界支払い意思額を得ることが可能となった。今後、更により適切な関数形を構築することとしたい。

### (4) 将来時点への適用と経済評価係数の作成

本節では、得られた限界支払い意思額をサブテーマ(4)に適用することでコベネフィットの推定を可能にするとともに、更に将来時点への適用と、経済評価係数の作成方法について述べる。LIMEにおける経済評価係数は、人間健康という保護対象を例にとると、1kgのCO2あたりのDALY (DALY; Disability Adjusted Life Year障害調整生存年) であり、DALY/kg・CO2という単位を有する被害を表す係数である。これに対し、円/DALYという単位を有する値をコンジョイント分析により求めて乗じることで、円/kg・CO2という単価を持つ単一指標化を行っている。単一指標化された係数を経済評価係数と呼ぶ。

日本以外の対象地域について、インベントリー発生から単一指標化までの一連の経路を、ゼロから全て解明することにより各地域版の被害係数を短期間で開発することは、LIMEの開発に5年費やしたことを考慮すると極めて困難である。そのため、本研究では第一次近似として、現在の日本のLIMEに対して、保護対象における時間的・地域的差異を反映することで、将来時点の他地域の影響を評価する経済評価係数を求めることとした。

具体的には、LIMEの保護対象である人間健康については人口密度、社会資産については一人あたりGDP、NPPについては潜在NPP、生物多様性については生物多様性が最も危機に瀕する場所を意味する生物多様性ホットスポットの違いを考慮した。ただし、ホットスポットについては、LIMEでは日本における維管束植物と水生植物を対象としているが、データの関係上、維管束植物の絶滅危惧種数を利用した。違いを考慮するこれら4項目を各時点・各地域について求め、日本の基準時点(2000年)に対する各時点・各地域の比とした上で、LIMEの被害係数に乗じた。

インターネット調査とコンジョイント分析により求めた各都市のウェイトニングファクターを将来時点に適用するには、「所得調整済みの原単位移転」を用いた。具体的には、基準とする所得（あるいは一人あたりGDP）の比率のべき乗 $\alpha$ を、各都市のウェイトニングファクターに乗じた

$$(WF_{x,JPN,yr0} \times (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha, \alpha = 0.3, 0.5, 0.9, 1, x = h \text{ (健康)}, s \text{ (資源)}, b \text{ (生物)}, n \text{ (植物)}, y_{rg,yr} = GDP_{rg,yr} / POP_{rg,yr})$$

この方法は保護対象によらず一律に適用した。この方法により、次式を用いて算定し、サブテーマ4に利用した。式中の係数は表(3)-7の通り。

- $CO2_{total,rg,yr} = (CO2_{h,rg,yr} \cdot WF_{h,city,yr0} + CO2_{s,rg,yr} \cdot WF_{s,city,yr0} + CO2_{b,rg,yr} \cdot WF_{b,city,yr0}) \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $SOx_{total,city,yr} = (SOx_{h,rg,yr} \cdot WF_{h,city,yr0} + SOx_{s,rg,yr} \cdot WF_{s,city,yr0} + SOx_{n,rg,yr} \cdot WF_{n,city,yr0}) \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $NOxp_{total,city,yr} = (NOxp_{h,rg,yr} \cdot WF_{h,city,yr0} + NOxp_{s,rg,yr} \cdot WF_{s,city,yr0} + NOxp_{n,rg,yr} \cdot WF_{n,city,yr0}) \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $NOxl_{total,city,yr} = (NOxl_{h,rg,yr} \cdot WF_{h,city,yr0} + NOxl_{s,rg,yr} \cdot WF_{s,city,yr0} + NOxl_{n,rg,yr} \cdot WF_{n,city,yr0}) \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $PM2.5p_{total,city,yr} = PM2.5p_{h,rg,yr} \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $PM2.5l_{total,city,yr} = PM2.5l_{h,rg,yr} \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $PM10p_{total,city,yr} = PM10p_{h,rg,yr} \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$
- $PM10l_{total,city,yr} = PM10l_{h,rg,yr} \cdot (y_{rg,yr} / y_{JPN,yr0})^\alpha$

ただし人口、一次生産力、ホットスポットをそれぞれPOP、NPP、BDとして

- $Inv_{h,rg,yr} = Inv_{h,rg,yr0} \times (POP_{rg,yr} / POP_{rg,yr0})$
- $Inv_{s,rg,yr} = Inv_{s,rg,yr0} \times (GDP_{rg,yr} / GDP_{rg,yr0})$
- $Inv_{b,rg,yr} = Inv_{b,rg,yr0} \times (BD_{rg,yr} / BD_{rg,yr0})$
- $Inv_{n,rg,yr} = Inv_{n,rg,yr0} \times (NPP_{rg,yr} / NPP_{rg,yr0})$

Inv = CO2, SOx, NOxp, NOx1, PM2.5p, PM2.5l, PM10p, PM10l (p, lはそれぞれ点源と線源、PM2.5とPM10は微小粒子状物質であり、PM2.5は空気力学径が2.5 $\mu$ m、PM10は10 $\mu$ mの粒子である)

表(3)-7 インベントリー別の被害係数、影響領域、ウェイトニングファクター

係数	保護対象	人間健康	資源	生物	植物
ウェイトニングファクター (WF)		$WF_{h,city,yr0}$	$WF_{s,city,yr0}$	$WF_{b,city,yr0}$	$WF_{n,city,yr0}$
インベントリー (Inv) 別の被害係数	CO2	$CO2_{h,world,yr0}$	$CO2_{s,world,yr0}$	$CO2_{b,world,yr0}$	
	SOx	$SOx_{h,JPN,yr0}$	$SOx_{s,JPN,yr0}$		$SOx_{n,JPN,yr0}$
	NOxp	$NOxp_{h,JPN,yr0}$	$NOxp_{s,JPN,yr0}$		$NOxp_{n,JPN,yr0}$
	NOx1	$NOxl_{h,JPN,yr0}$	$NOxl_{s,JPN,yr0}$		$NOxl_{n,JPN,yr0}$
	PM2.5p	$PM2.5p_{h,JPN,yr0}$			
	PM2.5l	$PM2.5l_{h,JPN,yr0}$			
	PM10p	$PM10p_{h,JPN,yr0}$			
PM10l	$PM10l_{h,JPN,yr0}$				

影響領域の凡例：地球温暖化、酸性雨（越境汚染）、都市域大気汚染

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

便益移転は政策支援に資する有効なツールであるにも関わらず、それ自体を研究対象としている資源環境関連の研究者は、国内には極めて少ない。コンジョイント分析を用い、海外における

複数同時の社会調査の実施も例がなく、そもそもこうした社会調査を実施すること自体に意義がある。海外における社会調査の設計は、様々な制約条件下において技術的に極めて難易度が高いものとなるが、調査に際してのノウハウ等の蓄積は、今後の類似調査の実施に役立つことが期待される。本研究で実施した社会調査が成功裡に完了した点は特筆に値する。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

### <行政が活用することが見込まれる成果>

地球環境政策をアジア広域において推進する際には、その基礎となる環境影響に関する情報（例えば費用や便益）が必要となる。特に重点的に把握する必要がある地点においては、統計学的にも精緻な手法で綿密な調査が望まれるが、「木を見て森を見ず」にならないことも政策遂行上、重要なことである。便益移転はそのためのカギとなるツールであり、本研究を通じて平易かつ妥当な方法の開発につなげることで、温暖化だけでなく大気汚染面での我が国によるアジアにおける環境貢献が期待されている「二国間オフセットクレジットメカニズム」など、地球環境政策の支援に貢献することが期待される。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

#### <査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) K. MURAKAMI, M. NISHIO, E. ENDO, K. YOSHIDA and N. ITSUBO: The 2nd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE 2012), Bandung, Indonesia (2012)  
"Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer"

- 2) M. NISHIO, E. ENDO, K. TOKIMATSU, K. MURAKAMI, M. AICHA, K. YOSHIDA and N. ITSUBO:  
Eco Balance 2012, Yokohama, Japan (2012)  
"Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by  
co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis  
and benefit transfer"
- 3) K. TOKIMATSU, E. ENDO, M. NISHIO, K. MURAKAMI, M. AICHA, K. YOSHIDA and N. ITSUBO:  
The 3rd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics  
(EAAERE 2013), Huangshan, China (2013)  
" Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by  
co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis  
and benefit transfer "

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) 環境省、微小粒子状物質(PM2.5)に関する情報、<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html>
- 2) IPCC 2007, Sathaye J, Najam A. Editors "Sustainable Development and Mitigation", in Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 3) 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET) 、<http://www.eanet.asia/jpn/>
- 4) 例えば、環境儀No.22、<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/22/22.pdf>、2006
- 5) 外岡他、Hc-089 中国における気候変動対策シナリオ分析と国際比較による政策立案研究、[http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/backnumber/suishinhi/jpn/projects\\_underway/pdf/Hc089.pdf](http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/backnumber/suishinhi/jpn/projects_underway/pdf/Hc089.pdf)
- 6) 鈴木他、東アジアの大気汚染対策促進に向けた国際枠組とコベネフィットアプローチに関する研究、[http://www.acap.asia/~s7/S-7\\_jpn/research/S\\_7\\_3.html](http://www.acap.asia/~s7/S-7_jpn/research/S_7_3.html)
- 7) 例えば、環境省、コベネフィットCDMモデル事業、<http://www.env.go.jp/water/info/cdm/>

- 8) 伊坪徳宏、稲葉敦（監修）：LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法，産業環境管理協会、2010
- 9) 例えば、村上佳世他、LIMEの世界化—統合化手法の開発—第8回日本LCA学会要旨集、2013
- 10) 例えば、吉田謙太郎、便益移転による環境評価の収束妥当性に関する実証分析—メタ分析と便益関数移転の適用—，農業経済研究，72, 3, 122-129（2000）
- 11) 大床太郎 他：大気汚染対策の便益移転と環境会計，環境科学会誌，20, 1, 7-20（2007）
- 12) Ready R. and Navrud S. (Eds.): "Environmental Value Transfer: Issues and Methods", Springer (2007)
- 13) Smith, et al.: "Structural benefit transfer: An example using VSL estimates", Ecol. Econ. 60, 361-371 (2006)
- 14) Brouwer R. and Spaninks, F. A.: "The Validity of Environmental Benefit Transfer: Further Empirical Testing", Env. Res. Econ. 14, 95-117 (1999)
- 15) Smith, V.K., Pattanayak, S.K., "Is meta-analysis the Noah's Ark for non market valuation?" Environmental and Resource Economics 22 (1- 2), 271- 296 (2002)
- 16) 吉田・栗山、「全国における生物多様性保全政策の経済評価—選択実験による評価—」、環境経済・政策学会2011年大会（長崎大学）  
[http://kkuri.kais.kyoto-u.ac.jp/~kkuri/seeps2011/abst/2010\\_PNfL2pPp.pdf](http://kkuri.kais.kyoto-u.ac.jp/~kkuri/seeps2011/abst/2010_PNfL2pPp.pdf)
- 17) 青柳・山崎・吉澤、「持続可能なライフスタイルを若者はどうとらえているか—UNEP Global Survey on Lifestylesの結果から—」、環境経済・政策学会2009年大会（千葉大学）  
[http://www.seeps.org/meeting/2009/abst\\_0816\\_2009.pdf](http://www.seeps.org/meeting/2009/abst_0816_2009.pdf)
- 18) Ready R., et al. : "Benefit Transfer in Europe: How Reliable Are Transfers between Countries", Env. Res. Econ. 29, 67-82 (2004)
- 19) Ready R. and Navrud S. : "International benefit transfer: Methods and validity tests", Ecol. Econ. 60, 429-434 (2006)
- 20) 電通総研，日本リサーチセンター（編集）：世界主要国価値観データブック，同友館（2008）
- 21) Itsubo et al. 2012. "Statistical analysis for the development of national average weighting factors- visualization of the variability between each individual's environmental thoughts", International Journal of Life Cycle Assessment 7(4)488- 498
- 22) PricewaterhouseCoopers UK Economic Outlook November 2009, "Global city GDP rankings 2008-2025" November 2009,  
<http://www.ukmediacentre.pwc.com/imagelibrary/downloadMedia.ashx?MediaDetailsID=1562>
- 23) UBC, "Prices and earnings 2012", September 2012,  
[http://www.static-ubs.com/global/en/wealth\\_management/wealth\\_management\\_research/prices\\_earnings/\\_jcr\\_content/par/columncontrol/coll/linklist/link\\_0.1393999310.file/bGluaY9wYXR0PS9jb250ZW50L2RhbS91YnMvZ2xvYmFsL3dlYWx0aF9tYW5hZ2VtZW50L3dlYWx0aF9tYW5hZ2VtZW50X3Jlc2VhcmNoL1BfTF8yMDEyX2VuLnBkZg==/P\\_L\\_2012\\_en.pdf](http://www.static-ubs.com/global/en/wealth_management/wealth_management_research/prices_earnings/_jcr_content/par/columncontrol/coll/linklist/link_0.1393999310.file/bGluaY9wYXR0PS9jb250ZW50L2RhbS91YnMvZ2xvYmFsL3dlYWx0aF9tYW5hZ2VtZW50L3dlYWx0aF9tYW5hZ2VtZW50X3Jlc2VhcmNoL1BfTF8yMDEyX2VuLnBkZg==/P_L_2012_en.pdf)

#### (4) アジア地域におけるコベネフィットを考慮した緩和技術の導入分析

(独) 産業技術総合研究所

エネルギー技術研究部門 エネルギー社会システムグループ 村田晃伸

平成22年度～24年度累計予算額：23,558千円

(うち平成24年度予算額：6,475千円)

予算額は、間接経費を含む。

##### [要旨]

本サブテーマの目標は、マクロなエネルギーシステムモデルを用いて、2030年頃の中国、インドなどアジア地域の数地点において展開される可能性のある新オフセット・メカニズムによる緩和技術の導入を分析することにより、オフセット・メカニズムにコベネフィットを組み合わせる手法の効果を定量的に明らかにすることである。評価ツールとして、サブテーマ(1)と連携して中国の主要6電力グリッドとインドの主要2電力グリッドを対象とする最適電源計画モデルを構築した。最適化の目的関数に、サブテーマ(2)、(3)の成果である大気汚染物質(硫黄酸化物、窒素酸化物、ばいじん)排出削減のコベネフィットを含めることにより、コベネフィットを考慮したCDMの地域別、技術別ポテンシャルの定量的評価が可能になった。火力発電に対する大気汚染物質排出規制や再生可能エネルギー発電に対する固定価格買取制度の導入など、中国およびインドにおける環境エネルギー政策の新しい動向を織り込んだベースラインの分析を行った。ベースライン分析の結果を踏まえ、先進的火力発電技術、再生可能エネルギー発電および原子力発電によるCDMを中国およびインドで実施する事を想定して、排出クレジットだけを考慮する現行CDMと、コベネフィットを考慮するCDMの導入分析を行った。その結果、ほとんどのケースにおいて、ホスト国がCDMのコベネフィットを考慮に入れることにより、CDMの導入規模が拡大する可能性があることを示した。また、コベネフィットの効果は、再生可能エネルギー発電などのようにkWhあたりのCO<sub>2</sub>排出削減効果が大きい発電技術のCDMよりも、先進的の石炭火力発電のCDMの場合に相対的に強く現れることが分かった。

##### [キーワード]

コベネフィット、CDM、エネルギーシステムモデル、発電技術

##### 1. はじめに

本研究は、現行のCDMを想定して先行研究で開発した「アジア地域における緩和技術の統一的な評価手法」を、新しいクレジット・メカニズムに対応させた経済的価値付け手法であるコベネフィット分析に発展していくもので、重点的に公募する行政ニーズとして挙げられている『気候変動対策のための2013年以降の国際枠組みに基づく国内・国際対策の推進に関する研究』に取り組むことを目的としている。サブテーマ(4)は、サブテーマ(1)～(3)の研究から得られる技術別・地域別の評価結果を総合し、対象とするアジアの主要地域における導入シナリオをマクロなエネル

ギーモデルを用いて分析することにより、オフセット・メカニズムにコベネフィットを組み合わせる手法の効果を定量的に明らかにする役割を担っている。

## 2. 研究開発目的

本プロジェクトで評価対象とする先進的発電技術の導入による、大気汚染物質（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん）の排出削減がもたらすコベネフィットをCDMにおいて考慮することにより、クレジットの供給量がどのように変化するかを定量的に評価する手法を開発する。超々臨界(USC)石炭火力発電、石炭ガス化複合サイクル(IGCC)発電、天然ガス複合サイクル発電、二酸化炭素回収型(CCS)火力発電等の先進的火力発電技術と、風力発電、太陽光発電、バイオマス発電などの再生可能エネルギー発電を事例とする導入分析を行う。とくに、先進的火力発電を利用するオフセット・メカニズムは、電源構成において石炭火力発電が大きな割合を占めるインド、中国がホスト国になると想定されるため、中国とインドをCDM事業の想定ホスト国として技術別、地域別にケーススタディを実施する。

## 3. 研究開発方法

### (1) 多電力グリッド最適電源計画モデル<sup>1)2)</sup>

#### 1) モデルの概要

コベネフィットを考慮したクレジット・メカニズムによる導入分析のツールとして最適電源計画モデルを開発する。最適電源計画モデルを用いることにより、ホスト国のエネルギー環境政策を考慮したベースラインと、先進技術導入による環境負荷低減効果を定量的に評価することが可能になる。とくにCDMでは、プロジェクトが実施される電力グリッド単位でベースラインを設定することを考慮して、中国とインドの主要な電力グリッドを構成単位とする多電力グリッド最適電源計画モデルを開発した。

中国のモデルは華北、東北、華東、華中、西北、南方の6グリッドで構成され（図(4)-1）、2006年から2046年までを分析期間とする。インドのモデルは、北部（デリー、グジャラート、など29州）、南部（カルナタカ、タミルナドゥなど6州）の2グリッドで構成され（図(4)-2）、2006年から2031年までを分析期間とする。



図(4)-1 中国モデルのグリッド構成



図(4)-2 インドモデルのグリッド構成

表(4)-1 最適電源計画モデルを構成する主な式

制約式名	制約式の意味
電力需要充足式	発電量と電力需要がバランスすることを示す。
ピーク時設備稼働関係式	電力需要のピーク時間帯に発電可能な発電設備の割合を表す。
ピーク時予備力関係式	電力需要のピーク時間帯に発電可能な発電設備が十分確保できることを保証する。
運転出力の相互関係式	電力需要が高い時間帯ほど、多くの発電設備が稼働することを表す。
発電設備量の関係式	ある年に存在する発電設備量は、前年の保有設備量、新設設備量、改修による増減量、および廃止量で決まることを示す。
発電設備改修の関係式	既存発電所に環境対策のための改修を施すことを示す。
揚水用動力バランス式	揚水発電の揚水動力量と発電量の関係を表す。
年設備利用率関係式	発電設備の設備量と年間発電可能量（上限）の関係を表す。
再生可能エネルギーの出力変動に対する調整式	風力発電、太陽光発電の出力変動に対して、十分な調整力を確保できることを保証する。
発電量定義式	発電設備の発電量を定義する。
燃料消費量定義式	発電設備の燃料消費量を定義する。
環境負荷排出量定義式	電力網の環境負荷(CO <sub>2</sub> 、SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> )排出量を定義する。
排出クレジット定義式	CDMにより獲得されるクレジット量を定義する。
環境負荷低減量定義式	CDMによりベースラインから削減される排出量を定義する。
CDMの追加性判定式	CDMプロジェクトの内部投資収益率（Internal Rate of Return、IRR）に関する制約。CDMプロジェクトが実施される電力網、実施時期、および対象技術別に課す。
目的関数	本文中の(1)式～(3)式で定義する。

最適電源計画モデルは表(4)-1に挙げた制約式、および目的関数(1)～(3)により構成される。ベースラインの場合には(1)式で定義する目的関数OBJ<sub>BL</sub>を用い、コベネフィットを考慮しないCDMの導入評価の場合には(2)式で定義する目的関数OBJ<sub>CDM</sub>を用いる。OBJ<sub>BL</sub>は売電から得られる発電事業者の利益（現在価値換算値）を表す。OBJ<sub>CDM</sub>はOBJ<sub>BL</sub>に排出クレジットの売却から得られる利益を加算したものである。CO<sub>2</sub>クレジットはプロジェクトのクレジット期間だけで得られるものとし、その量はCDMのルールに準拠して定義する。さらに、コベネフィットを考慮する場合には(3)式で表される目的関数OBJ<sub>CB</sub>を使用する。OBJ<sub>CB</sub>は、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじんの排出量がベースラインより減少した分のコベネフィットをOBJ<sub>CDM</sub>に追加したものである。CDMプロジェクトのコベネフィットは発電プラントの耐用期間全体にわたり得られるものとする。

$$OBJ_{BL} = \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} \sum_g (I_{g,t} - K_{g,t} - OM_{g,t} - F_{g,t}) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 g=1～6、電力網を表す

t= 2006年から5年おき、時間断面を表す

d= 割引率

I<sub>g,t</sub> = 売電収入（電力グリッドによる買取価格と買取電力量の積和）

K<sub>g,t</sub> = 資本費

OM<sub>g,t</sub> = 運転保守費

F<sub>g,t</sub> = 燃料費

$$\text{OBJ}_{\text{CDM}} = \text{OBJ}_{\text{BL}} + \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} \sum_g C_{g,t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $C_{g,t}$  = クレジット収入（クレジット価格とクレジット売却量の積和）

$$\text{OBJ}_{\text{CB}} = \text{OBJ}_{\text{CDM}} + \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} \sum_g B_{g,t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $B_{g,t} = \sum_k b_k \Delta e_k$ 、コベネフィットを表す

$k$  = 大気汚染物質（ $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、ばいじん）

$b_k$  = 単位排出削減量当たりのコベネフィット値

$\Delta e_k$  = CDMによりベースラインから減少した環境負荷 $k$ の排出量

= (ベースラインにおける火力発電の平均EF - CDM技術のEF) × CDM技術の発電量

EF = kWhあたり大気汚染物質排出量

制約式のうち、「CDMの追加性判定式」は、CDMプロジェクトの経済的な追加性を判定するために課す制約である。CDMプロジェクトの内部投資収益率（Internal Rate of Return、IRR）は、発電した電力を電力グリッドに卸して得る収入だけでは予め設定したしきい値を下回り、売電に加えてCER発行による収入も得ることで初めて設定したしきい値を上回る、ということを表す。発電電力の買取価格が高すぎると、CER発行収入が無くても内部収益率がしきい値を上回りCDMプロジェクトとしては成立しない。CER価格が低すぎると、CER発行収入を加えても内部収益率がしきい値を下回りCDMプロジェクトとして成立しない。内部投資収益率のしきい値は、中国については8%、インドについては13%とした。これらの値は、UNFCCCに提出されたCDMプロジェクトのプロジェクト設計書(PDD)で採用されている値に基づいて設定した。

また、「再生可能エネルギーの出力変動に対する調整式」は、風力発電、太陽光発電の出力変動に対して、十分な調整力を系統側で確保できることを保証するために課す制約である。引用文献3)によれば、系統運用上もっとも厳しいのは、36時間の間に発生する出力変動に対して十分な調整力を確保することである。36時間の間に発生する出力変動は最大で、風力発電、太陽光発電の合計発電容量の約90%に達する。系統側では電力需要の変動に加えて、風力発電、太陽光発電の出力変動を吸収出来るだけの発電容量を確保する必要がある。調整力として利用可能な電源は電力系統により異なり、一般的な火力発電、水力発電、揚水発電の他、系統によっては原子力発電も利用することがある。今回モデル化の対象とした中国、インドの系統については、火力発電、水力発電、揚水発電だけを調整力として考慮した。ただし、中国の火力発電容量の2割弱を占める熱電併給発電は、特に冬季においては熱供給側の運用に制約されて電力負荷に対する追従性能が悪くなる。このことを考慮して、中国の系統については熱電併給火力発電を調整力から除外した。

コベネフィットの効果の分析手法としては、まずコベネフィットを考慮しない現行CDMを想定した先進的発電技術の導入ポテンシャルを、最適電源計画モデルを用いて地域別、技術別に分析する。次に、CDMプロジェクトとして先進的発電技術が導入されることによりもたらされる $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、ばいじんの排出削減量に被害額を乗じた値を、最適電源計画モデルにおけるCDMの便益に追加することにより、コベネフィットを考慮したCDMの導入ポテンシャルを分析する。最後に、両者を比較することにより、コベネフィットの効果を定量的に評価する。

## 2) 主要設定データ

### a 電力需要

中国の将来の電力需要については、日本エネルギー経済研究所「アジア/世界エネルギーアウトック2007」等を参考にして、2020年に4.1兆kWh、2030年に5.3兆kWh、2045年には6.7兆kWhに達すると想定した。各電力グリッドの需要は、総電力需要を2006年のシェアで配分して決定した。各電力グリッドの年負荷持続曲線は公開されていないため、2006年に関しては利用可能な情報に基づいて推定し<sup>2)</sup>、2011年以降は電力需要に比例して2006年の持続曲線を変化させたものを用いた。

インドの将来の電力需要については、日本エネルギー経済研究所「アジア/世界エネルギーアウトック2009」等を参考にして設定した<sup>4)</sup>。想定電力需要増加率は、2007～2020年は年率5.8%、2002～2030年は年率5.7%、2030～2035年は年率5.5%である。各電力グリッドの需要は、総電力需要を2006年のシェアで配分して決定した。南部グリッドの年負荷持続曲線はCentral Electricity Authorityにより公開されている。北部グリッドの年負荷持続曲線は公開されていないため、年負荷持続曲線から決まる年負荷率（＝年間平均電力需要と年間最大電力需要の比）が北部グリッドの実績値に合うように、南部グリッドの持続曲線を変形したものを用いた。2011年以降は電力需要に比例して2006年の持続曲線を変化させた。

### b 電力グリッドによる買取価格

電力グリッドによる発電買取価格については、文献調査およびインターネット検索により現状価格を調査した結果に基づいて設定した。中国における買取価格の設定値を表(4)-2に示す。中国の石炭火力については、石炭価格に合わせて買取価格が調整される。今回は、インターネット検索により20地区（省、直轄市）における買取価格を調査し、グリッド毎に求めた平均値を買取価格として設定した。石炭火力以外の発電技術に対する買取価格については全グリッド共通とした。

表(4)-2 中国における発電買取価格の設定値

		買取価格 (元/kWh) (1元=\$0.126)	備考
石炭火力発電	華北グリッド	0.414	石炭価格の高低に合わせて調整される
	東北グリッド	0.388	
	華東グリッド	0.447	
	華中グリッド	0.427	
	西北グリッド	0.373	
	南方グリッド	0.457	
天然ガス火力発電		0.556	全グリッドに共通
原子力発電		0.44	CF=年間設備利用率
水力発電		0.297	
揚水発電		0.26	
風力発電(CF=30%)		0.51	
風力発電(CF=20%)		0.54	
バイオマス発電		0.75	
太陽光発電		1.15	

表(4)-3 インドにおける発電買取価格の設定値

	買取価格 (\$/kWh)	備 考
石炭火力発電	0.062	全グリッドに共通
褐炭火力発電	0.04	
天然ガス火力発電	0.052	輸入天然ガス比率の増加と 共に上昇
原子力発電	0.062	揚水発電を含む CF=年間設備利用率
水力発電	0.046	
風力発電(CF=30%)	0.078	
風力発電(CF=20%)	0.12	
バイオマス発電	0.12	太陽光発電設備の低価格化 と共に引き下げ
太陽光発電	0.20	

インドにおける買取価格の設定値は表(4)-3のように設定した。再生可能エネルギー発電以外の電源に対する買取価格については、インド中央電力規制委員会(CERC)の年次報告書<sup>5)</sup>を参考にした。再生可能エネルギー発電については、2012年に導入された固定価格買取制度<sup>6)</sup>を参考に買取価格を設定した。なお、太陽光発電については、2031年に向かって発電設備の価格が低下するとともに買取価格も\$0.09/kWhまで下がると想定した。

### c 燃料価格

国産の発電燃料については、文献調査によって収集した情報に基づいて現状価格を設定し、将来価格には国際価格と同じ上昇率を見込んだ。

中国の電力系統に関する発電燃料の現状価格の設定値を表(4)-4に示す。石炭については、産炭地における積み出し価格、産炭地と消費地間の輸送手段と輸送距離および輸送量に基いて電力グリッド毎に推定した平均炉前価格を設定した。石炭の輸入は、沿岸部に位置する華北グリッド、華東グリッド、南方グリッド、東北グリッドで行われるとし、将来輸入炭の方が国産炭よりも低価格になった場合には、輸入炭が利用されるものとした。発電用天然ガスについては、主に輸入ガスが利用されると想定した。中国の天然ガス価格は政府による強い統制を受けている。輸入ルートとしては、LNGとパイプラインガスがあるが、今回の分析では価格面で両者を区別せず、電力グリッド毎の違いも考慮しなかった。バイオマス燃料の価格は、中国をホスト国とする農業廃棄物利用バイオマス発電CDMプロジェクトのプロジェクト設計書(PDD)の中で想定されている燃料価格を調査した結果に基づき設定した。中国のエネルギー輸入価格については、国際エネルギー機関(IEA)World Energy Outlook 2011の日本の輸入価格シナリオに拠って設定した。

インドの電力系統に関する発電燃料の現状価格の設定値は表(4)-5に示す通りである。石炭、褐炭、天然ガスについては、国家電力計画2007で想定されている発熱量当たりの価格に基づいて山元価格を設定した。石炭の炉前価格には、さらに輸送コストが加えられている。輸送コストは、平均輸送距離を1000km<sup>5)</sup>として\$16.3/トン石炭と想定したが、電力グリッドによる違いは明確にならなかった。発電用天然ガスについては、現在は主に安価な国産天然ガスが利用されているが、将来増加する需要に見合うだけの量を生産が可能であるかは不確実である。そのため、長期的に

は輸入天然ガスの利用が増加すると見込まれている。インドの天然ガス輸入価格は、国際エネルギー機関(IEA)World Energy Outlook 2011のヨーロッパの輸入価格シナリオに拠って設定した。農業廃棄物バイオマス燃料については、再生可能エネルギー発電の固定買取価格を設定するときに使用された価格<sup>6)</sup>を引用した。

表(4)-4 中国における発電用燃料の現状価格

		価格	備考
石炭	華北グリッド	345	この表に示すのは2007年の推定炉前価格である <sup>2)</sup> 。参考値として、華東グリッドにおける実績値510元/トン(発熱量5500kcal/トン換算)を挙げておく。
	東北グリッド	384	
	華東グリッド	517	
	華中グリッド	382	
	西北グリッド	297	
	南方グリッド	582	
天然ガス		2.05	単位 元/m <sup>3</sup> (2006年)
農業廃棄物バイオマス		150	単位 元/トン

表(4)-5 インドにおける発電用燃料の現状価格

		価格	備考
石炭		35	単位 \$/トン(発熱量3950kcal/トン換算) 輸送コストとして\$16.3/トンを含む
褐炭		25.8	単位 \$/トン。価格上昇は考慮しない。
天然ガス(国産)		0.095	単位 \$/m <sup>3</sup> (2006年)
農業廃棄物バイオマス		54	単位 \$/トン

#### d 発電技術の特性

各国のモデルで使用する新規電源の特性(経済性、発電効率、設備利用率)は、大筋では国際エネルギー機関(IEA)World Energy Outlook 2011の新政策シナリオ<sup>7)</sup>に拠って設定した。バイオマス発電の発電効率については、農業廃棄物利用バイオマス発電CDMプロジェクトのプロジェクトデザイン文書(PDD)等を参考に、現在の技術水準を考慮した値を想定した。中国の発電技術(新規)に関する設定データを表(4)-6、インドの発電技術(新規)に関する設定データを表(4)-7に示す。なお、2035年以降の技術データは変化しないと想定した。

2006年における既設火力プラントの発電効率は、中国については「2007中国電力年鑑」から得られる地区別火力発電量と、引用文献<sup>8)</sup>所載の地区別発電用燃料消費量に基づいて、電力グリッド別に設定した。ただし、中国政府が10万kW以下の小規模火力プラントの廃止を推し進めていることを考慮して、10万kW以下の小規模火力プラントについては2015年までに全廃されるものとした。インドの既設火力プラントの発電効率については、Central Electricity Authority が公開しているデータベース(CDM-CO2 Baseline Database)に基づいて、電力グリッド別に設定した。

中国における二酸化炭素回収貯留(CCS)については、輸送・貯留コストと貯留可能量を文献<sup>9)</sup>に

よって地域別に設定した。インドにおけるCCSについては、地域別の貯留可能量に関する情報が得られなかったため、文献<sup>10)</sup>によって輸送・貯留コストのみを設定した。CDMプロジェクトの対象となる先進的発電技術の発電効率と環境特性は我が国の技術水準を踏まえて設定した。

表(4)-6 中国の発電技術（新規）に関する設定データ<sup>7)</sup>

(\$1=7.96元)

(年)	建設費(\$/kW)			O&M費(\$/kW)			発電端効率(%)		
	2010	2020	2035~	2010	2020	2035~	2010	2020	2035~
亜臨界石炭火力	600	600	600	21	21	21	37	37	37
超臨界石炭火力	700	700	700	28	28	28	42	42	42
超々臨界石炭火力	800	800	800	32	32	32	46	48	50
石炭ガス化複合サイクル発電	1100	1100	900	50	50	41	47	49	51
天然ガス複合サイクル発電	550	550	550	18	18	18	57	59	61
超々臨界石炭火力+CCS	1500	1500	1500	60	60	60	33	33	34
石炭ガス化複合サイクル発電+CCS	1800	1800	1600	81	81	72	38	40	44
バイオマス発電	2180	2110	2020	76	74	71	23	23	23
風力発電	1480	1530	1440	22	23	22			
太陽光発電	2590	1760	1360	49	33	25			

表(4)-7 インドの発電技術（新規）に関する設定データ<sup>7)</sup>

(年)	建設費(\$/kW)			O&M費(\$/kW)			発電端効率(%)		
	2010	2020	2035~	2010	2020	2035~	2010	2020	2035~
亜臨界石炭火力	1200	1200	1200	42	42	42	34	34	34
超臨界石炭火力	1500	1500	1500	60	60	60	39	39	39
超々臨界石炭火力	1700	1700	1700	68	68	68	42	44	46
石炭ガス化複合サイクル発電	2000	1900	1800	90	86	81	43	45	47
天然ガス複合サイクル発電	700	700	700	25	25	25	56	58	60
超々臨界石炭火力+CCS	2700	2700	2300	108	108	92	30	30	31
石炭ガス化複合サイクル発電+CCS	2900	2760	2500	131	124	113	34	36	40
バイオマス発電	2150	2060	1950	75	72	68	23	23	23
風力発電	1450	1430	1410	22	22	21			
太陽光発電	2600	1870	1420	39	28	21			

## b. 大気汚染物質（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん）排出削減のコベネフィット

ケーススタディでは、大気汚染物質（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん）排出削減量1kg当たりのコベネフィットとして、サブテーマ(2)(3)の研究成果に基づいて設定した表(4)-8の値を使用した。

表(4)-8 大気汚染物質排出削減量当たりのコベネフィット設定値

中国		(単位 2010年米ドル/kg)						
	2016年	2021年	2026年	2031年	2036年	2041年	2046年	
SO <sub>x</sub>	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	
NO <sub>x</sub>	0.88	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	
ばいじん	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	

インド		(単位 2010年米ドル/kg)			
	2016年	2021年	2026年	2031年	
SO <sub>x</sub>	2.7	3.3	4.2	5.1	
NO <sub>x</sub>	2.3	2.99	3.7	4.5	
ばいじん	0.13	0.14	0.15	0.15	

## (2) 大気汚染物質排出係数の設定

### 1) 排出規制

中国では2011年7月に発布された排出規制(GB13223-2011)により、新設火力発電所については2012年1月、既設火力発電所に対しては2014年7月から、表(4)-9の排出基準が適用されることになった。バイオマス発電については従来から石炭脈石(ばた)ボイラと同じ基準が適用されてきており、ここでも石炭火力と同じ限度値が適用されるものとする。いっぽうインドでは、ばいじんに対してのみ排出基準が設けられており、容量210MW以上の発電プラントの場合は150mg/m<sup>3</sup>、210MW未満のプラントの場合は300mg/m<sup>3</sup>が限度値とされている。

表(4)-9 中国の火力発電所の大気汚染物質排出基準値(一般地域)

	汚染物質	適用範囲	限度値	適用時期
石炭ボイラ	ばいじん	新設火力、既設火力	30 mg/m <sup>3</sup>	新設火力は2012年1月1日から適用
	SO <sub>x</sub>	新設火力	100 mg/m <sup>3</sup>	
		既設火力	200 mg/m <sup>3</sup>	既設火力は2014年7月1日から適用
	NO <sub>x</sub>	新設火力、既設火力	100 mg/m <sup>3</sup>	
天然ガスボイラ	NO <sub>x</sub>	新設火力、既設火力	50 mg/m <sup>3</sup>	

### 2) kWh当たりSO<sub>x</sub>排出係数

#### a. 中国の発電技術

2006年の統計値<sup>8)</sup>に基づき、石炭火力発電所の無対策時SO<sub>x</sub>排出係数を6.6g/kWh(1630mg/m<sup>3</sup>)と設定した。新規石炭火力発電所に適用される限度値を満たす排出低減率は94%で適用後のSO<sub>x</sub>排出係数は0.40g/kWh、既設石炭火力発電所に適用される限度値を満たす排出低減率は88%で適用後のSO<sub>x</sub>排

出係数は0.79g/kWhと設定した。石炭火力複合サイクル発電の排出低減率は98%とした。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのSO<sub>x</sub>排出は無いとした。

#### **b. インドの発電技術**

利用可能な統計値が欠けているため、石炭の硫黄含有量（北部0.57wt%、南部0.58wt%）と石炭灰等に残留する硫黄分の割合（2.5%）から石炭火力発電所の無対策時SO<sub>x</sub>排出係数を設定した。石炭火力複合サイクル発電の脱硫率は98%とした。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのSO<sub>x</sub>排出は無いとした。

#### **c. CDMの対象となる先進発電技術**

超々臨界石炭火力の排出低減率は97%と設定した。石炭火力複合サイクル発電の排出低減率は98%であるが、ガス化技術の違い（欧米およびそれを導入する中国、インドは酸素吹き、我が国は空気吹き）に基づき、発電所所内率を中国、インドにおける20%より小さい12.5%と設定した。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのSO<sub>x</sub>排出は無いとした。再生可能エネルギーでは、バイオマス発電だけからSO<sub>x</sub>が排出される。バイオマス燃焼によるSO<sub>x</sub>排出量は、USEPAのデータ<sup>12)</sup>を参考に5mg/MJ（バイオマス）と設定した。

### **3) kWh当たりNO<sub>x</sub>排出係数**

#### **a. 中国の発電技術**

燃焼による無対策時排出係数を、380mg/MJ（石炭）および190mg/MJ（天然ガス）とし<sup>11)</sup>、発電効率等を用いて換算した無対策時排出量を、石炭火力発電に関しては913mg/m<sup>3</sup>、天然ガス複合サイクル火力に関しては223mg/m<sup>3</sup>と設定した。石炭火力の場合、表(4)-9に掲げる排出限度値を満たす排出低減率は89%、天然ガス複合サイクル火力の場合は78%となる。石炭火力複合サイクル発電に関する排気中NO<sub>x</sub>濃度は10ppm(0.6%換算)と設定した。再生可能エネルギーでは、バイオマス発電だけからNO<sub>x</sub>が排出される。バイオマス燃焼によるNO<sub>x</sub>排出量は、US.EPAのデータ<sup>12)</sup>を参考に86mg/MJ（バイオマス）と設定した。この場合、バイオマス発電の発電端効率を23%と仮定した場合の排ガス中NO<sub>x</sub>濃度は96ppmと推定され、中国の排出規制（表(4)-9の石炭ボイラに準じる）に適合する。CCS火力に関しては、二酸化炭素回収プロセスによりNO<sub>x</sub>が2%低減するとした。

#### **b. インドの発電技術**

燃焼による無対策時排出係数を、380mg/MJ（石炭）および190mg/MJ（天然ガス）とし<sup>11)</sup>、発電効率を用いて無対策時排出係数を設定した。石炭火力複合サイクル発電に関する排気中NO<sub>x</sub>濃度は10ppm(0.6%換算)と設定した。CCS火力に関しては、二酸化炭素回収プロセスによりNO<sub>x</sub>が2%低減するとした。

#### **c. CDMの対象となる先進発電技術**

超々臨界石炭火力のNO<sub>x</sub>排出係数は0.19g/kWh、石炭火力複合サイクル発電のNO<sub>x</sub>排出係数は0.09g/kWhと設定した。天然ガス複合サイクル火力に関しては、燃焼による無対策時排出係数を190mg/MJとし、発電効率と脱硝の排出低減率(90%)を用いてNO<sub>x</sub>排出係数を設定した。CCS火力に関しては、二酸化炭素回収プロセスによりNO<sub>x</sub>が2%低減するとした。再生可能エネルギーでは、バイオマス発電だけからNO<sub>x</sub>が排出される。バイオマス燃焼によるNO<sub>x</sub>排出量は、US.EPAのデータ<sup>12)</sup>を参考に86mg/MJ（バイオマス）と設定した。

#### 4) kWhあたりばいじん排出係数

##### a. 中国の発電技術

2006年の統計値<sup>8)</sup>に基づき、表(4)-9に掲げる排出限度値適用前の石炭火力発電のkWhあたりばいじん排出係数は1.37g/kWh(340mg/m<sup>3</sup>)と推定された。適用後のばいじん排出係数は0.12g/kWhとした。石炭火力複合サイクル発電のばいじん排出係数は0.0014g/kWhと設定した。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのばいじん排出は無いとした。

##### b. インドの発電技術

利用可能な統計値が欠けているため、現行の排出限度値と電力グリッド別の発電所規模の分布に基づいて、石炭火力発電のkWhあたりばいじん排出係数を推計した。設定値は、210MW未満の発電所の割合が大きい北部グリッドに関しては0.80g/kWh、比較的大型の発電所が多い南部グリッドに関しては0.70g/kWhである。石炭火力複合サイクル発電のばいじん排出係数は0.0014g/kWhと設定した。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのばいじん排出は無いとした。

##### c. CDMの対象となる先進発電技術

超々臨界石炭火力のばいじん排出係数は0.033g/kWhとする。石炭火力複合サイクル発電のばいじん排出係数は、所内率が小さい分だけ中国、インドより低い0.0013g/kWh(0.3mg/m<sup>3</sup>)と設定した。天然ガス複合サイクル火力、CCS火力からのばいじん排出は無いとした。再生可能エネルギーでは、バイオマス発電だけからばいじんが排出される。バイオマス燃焼によるばいじん排出量は、US. EPAのデータ<sup>12)</sup>によると270mg/MJ(バイオマス)である。このままでは中国の排出規制(表(4)-9の石炭ボイラに準じる)に適合しないため、適切な脱じん装置が取り付けられるものと想定し、バイオマス燃焼によるばいじん排出量を、排出規制に適合する石炭火力並みの13mg/MJ(バイオマス)と設定した。

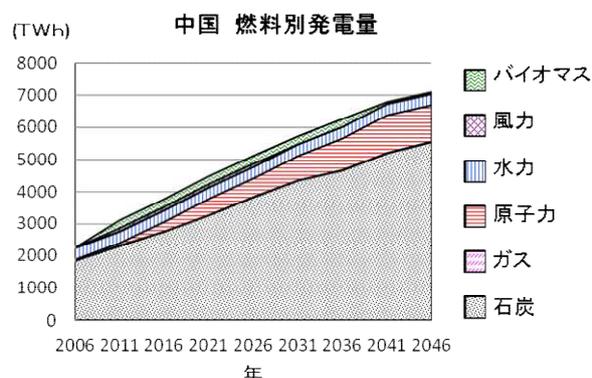
#### 4. 結果及び考察

##### (1) ベースライン

##### 1) 中国

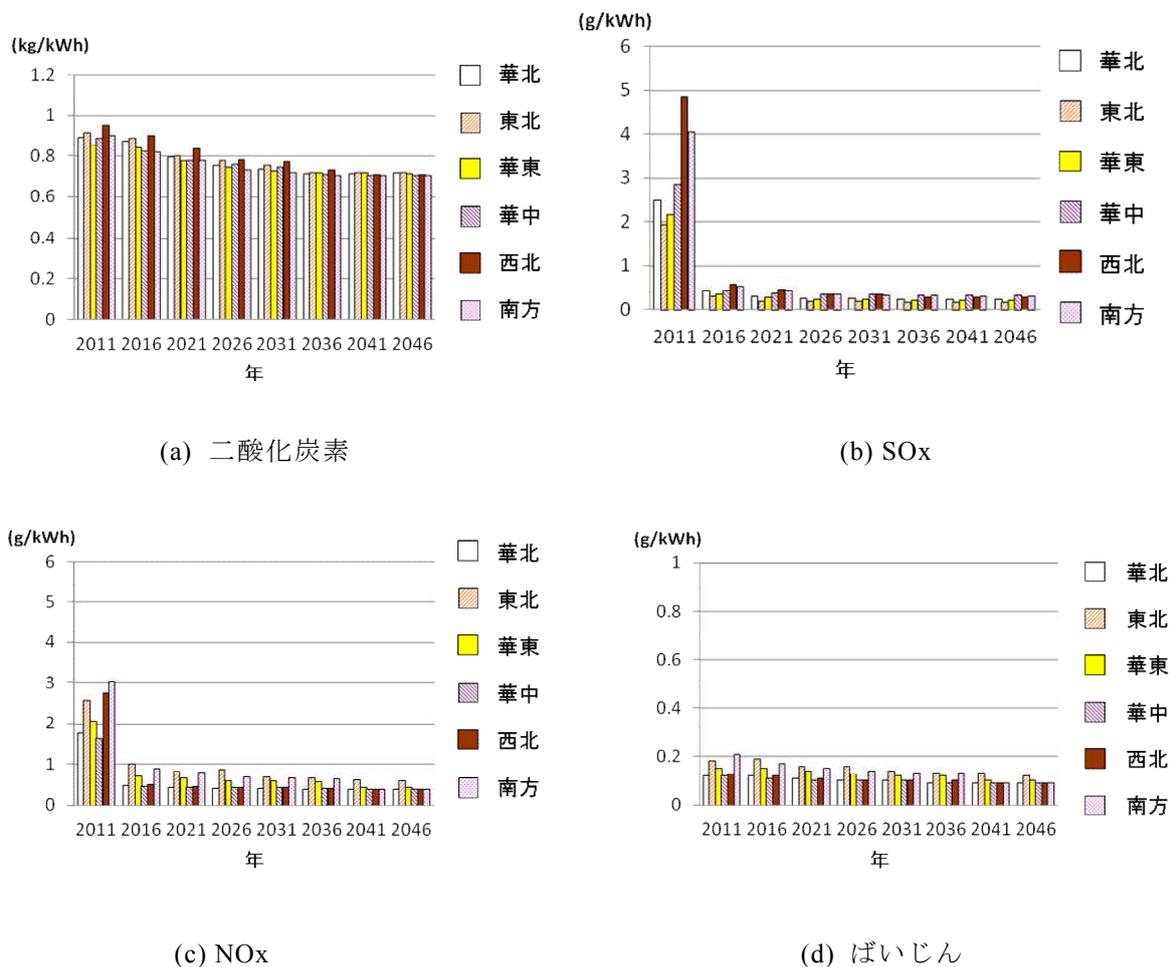
2020年にGDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量を2005年比で半減するという目標に沿ったCO<sub>2</sub>排出制約を課した。2046年においても全発電量の7割以上を石炭火力発電が占めるが、2012年以降は脱硫脱硝付き超々臨界石炭火力の導入が急速に進む。その結果、火力平均のkWh当たりCO<sub>2</sub>排出係数は2046年には2011年比で約3割減少する。同

時に、既設石炭火力プラントに脱硫脱硝装置を取り付ける改造が進行するため、火力発電のkWh当たりSO<sub>x</sub>排出量およびNO<sub>x</sub>排出量は2016年以降大幅に改善される。地域的にみれば、平均火力発電効率の違いを反映して、2006年には華東グリッドのkWh当たりCO<sub>2</sub>排出量が最も小さく西北グリッドが最も大きい、2046年に向かってどのグリッドでも超々臨界石炭火力の導入が進み、火力平均のkWh当たりCO<sub>2</sub>排出係数の地域差は縮小してゆく。石炭火力に次ぐ電源は原子力発電である。原子力発電の2020年の導入目標が75GWに引き上げられ、発電量全体に占める割合は2046年には16%に達



図(4)-3 中国のベースラインにおけるエネルギー種別発電量

する。天然ガス複合サイクル発電は、輸入ガスを利用する限り経済性の点で導入が進まない。ただし、中国におけるシェールガス利用については未だ情報が不十分であるため今回の分析では考



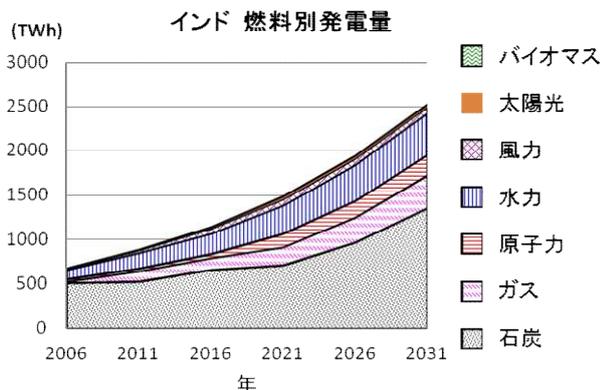
図(4)-4 中国のベースラインにおける火力平均kWhあたり環境負荷排出量

慮していない。再生可能エネルギーに対する固定価格買取制度の効果は、バイオマス発電や風力発電の導入等において2026年頃まで見られる。石炭ガス化複合サイクル発電と二酸化炭素回収貯留型発電は脱硫脱硝付き超々臨界石炭火力に比べて経済に不利で、ベースラインでは2046年まで導入がみられない。

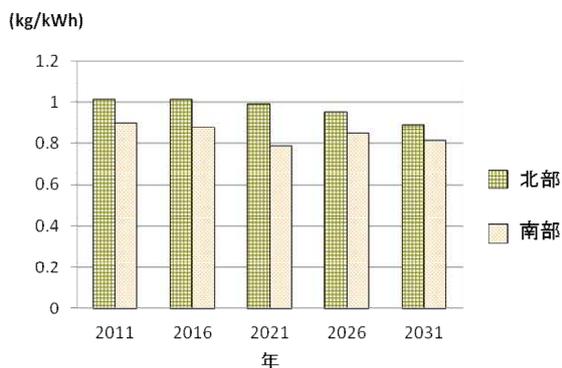
## 2) インド

インド政府の計画（国家電力計画2012）が想定する、2021年の全電源平均kWh当たりCO<sub>2</sub>排出量を2006年比で約2割低減、という目標に沿ったCO<sub>2</sub>排出制約を課した。これにより発電量に占めるガス火力と水力の割合が増加する。天然ガスは安価な発電が期待できる技術であるが、一方ではガス供給の不確実性がガス火力の利用拡大を制約している。モデルでは天然ガス発電全体に導入上限制約を課しているが、ベースラインにおいて上限まで導入が進んでいる。原子力が発電量に占める割合は緩やかに増加して2031年には9%に達する。2012年に導入された再生可能エネルギーに対

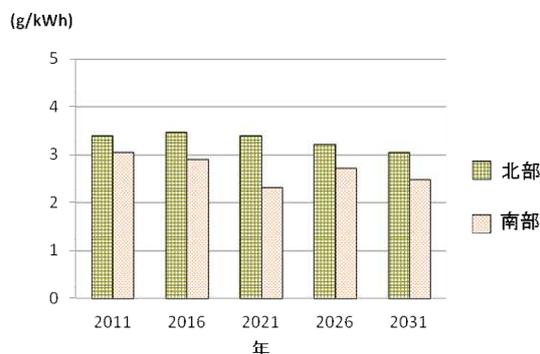
する固定価格買取制度の効果によって風力発電、太陽光発電等の導入が進み、2031年には発電量全体の4%を占めるようになる。石炭火力は今後も最大の発電量シェアを占めるが、中国の場合とは異なり、将来も発電効率の低い亜臨界石炭火力の割合が大きい。石炭ガス化複合サイクル発電と二酸化炭素回収貯留型発電については、ベースラインでは2031年まで導入されない。ばいじんに対する排出規制のみのインドでは、2016年以降も火力平均のkWh当たり大気汚染物質排出については、発電効率の向上にともなう緩やかな改善しか見られない。地域的には、210MW未満の発電所の割合が大きい北部グリッドと、比較的大型の発電所が多い南部グリッドの違いを反映して、火力発電のkWh当たりCO<sub>2</sub>排出量および大気汚染排出量は北部グリッドより南部グリッドの方が小さい。



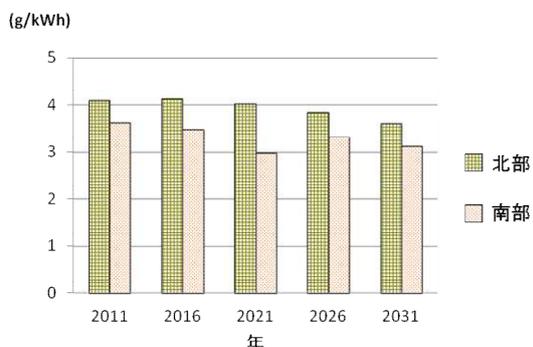
図(4)-5 インドのベースラインにおけるエネルギー種別発電量



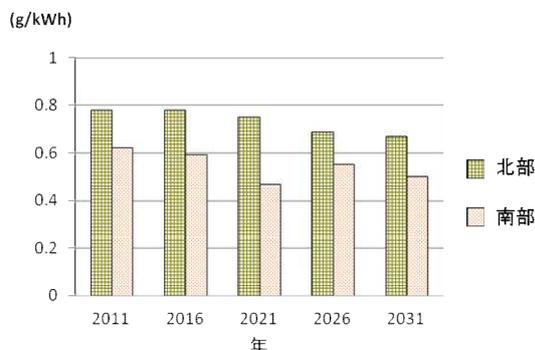
(b) 二酸化炭素



(b) SOx



(c) NOx



(d) ばいじん

図(4)-6 インドのベースラインにおける火力平均kWhあたり環境負荷排出量

## (2) CDMの技術別ポテンシャル

CDMのクレジット期間に供給される年平均CER量とCER価格の関係を表す曲線を、クレジット供給曲線と呼ぶことにする。ここでは、コベネフィットを考慮しないCDMの技術別ポテンシャルをクレジット供給曲線として分析した結果について述べる。

### 1) 中国

中国では、すでにベースラインにおいて超々臨界石炭火力発電の導入が大幅に進むため、石炭ガス化複合サイクル発電、天然ガス複合サイクル発電、二酸化炭素回収(CCS)型超々臨界石炭火力発電、二酸化炭素回収(CCS)型石炭ガス化複合サイクル発電、風力発電、太陽光発電および農業廃棄物利用バイオマス発電を対象技術として取り上げた。図(4)-7の「コベネフィット無し」カーブは、中国をホスト国として2016年に実施する先進火力発電技術のCDMを想定したクレジット供給曲線を示す。先進火力発電のクレジット期間は10年と想定した。

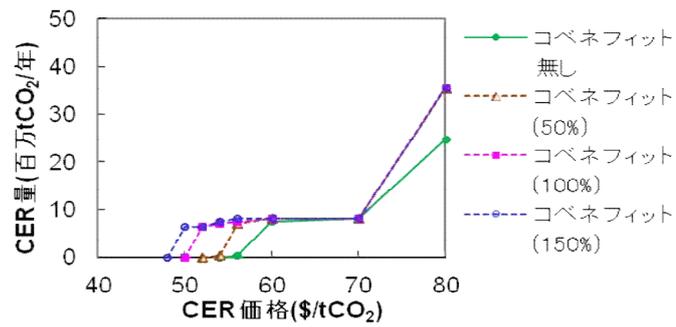
2016年に実施されるCDMプロジェクトが代替する電源は主に超々臨界石炭火力発電であるため、CDMが成立するCER価格は現在のCDMプロジェクトにおける想定価格よりも高くなっている。

石炭ガス化複合サイクル発電は、CER価格が\$56/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入が始まり、石炭価格の高い南方グリッドやkWh当たりCO<sub>2</sub>排出量が大きい西北グリッドなどに大きな導入ポテンシャルが有る。天然ガス複合サイクル発電もCER価格が\$56/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入が始まるが、CER価格が\$70/tCO<sub>2</sub>を越えてから導入量が増加し出す。導入ポテンシャルは主として石炭価格の高い南方グリッドに存在する。

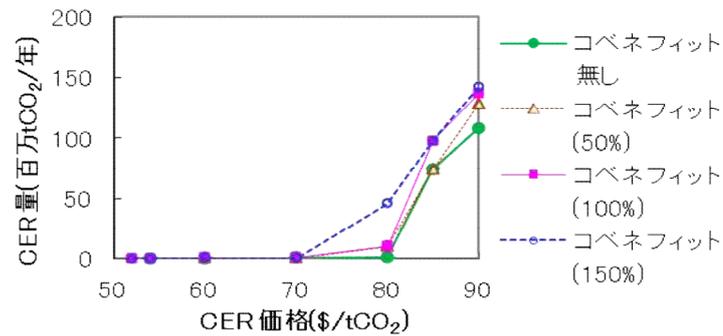
二酸化炭素回収型超々臨界石炭火力発電は、CER価格が\$40/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入可能になるが、発電コストが高いためにCDMとしての導入ポテンシャルはあまり大きくない。二酸化炭素回収型石炭ガス化複合サイクル発電の場合は、さらにCER価格が高くなければ導入可能にならない。全てのグリッドに導入可能であるが、最大の貯留ポテンシャルを有する華北グリッドへの導入量が最も大きい。

図(4)-8の「コベネフィット無し」カーブは、中国をホスト国として2016年に実施する再生可能エネルギー発電技術のCDMを想定したクレジット供給曲線である。再生可能エネルギー発電のクレジット期間は21年と想定した。

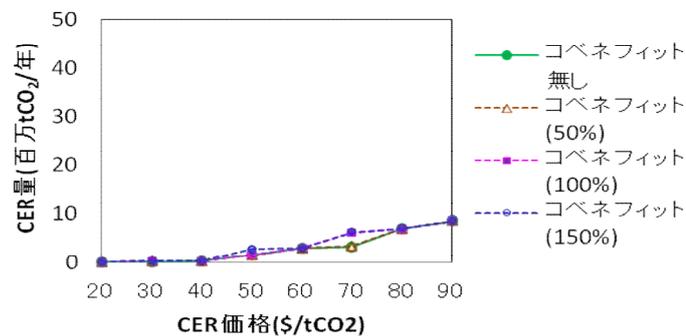
風況が良く年間設備稼働率の高い風力資源の開発は、すでにベースラインに織り込まれているため、CDMの対象となるのは主に年間設備利用率が20%前後の風力資源である。風力発電は、CER価格が\$44/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入が始まり、風力資源が豊かな華北グリッド、西北グリッドに大きな導入ポテンシャルが有る。太陽光発電は、買取価格として1.15元/kWhを適用しても、設備価格が高いためにCER価格が\$110/tCO<sub>2</sub>程度にならないとCDMとして成立しない。出力変動に対する調整力の観点から、大規模系統である華北グリッドと華東グリッドの導入ポテンシャルが大きい。バイオマス発電には0.75元/kWhの買取価格が適用され、ベースラインでも東北グリッド、華東グリッド、南方グリッドなどで導入が進む。CDMとしてはCER価格が\$10/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入可能になり、導入ポテンシャルは主として華北グリッドや華中グリッドにある。



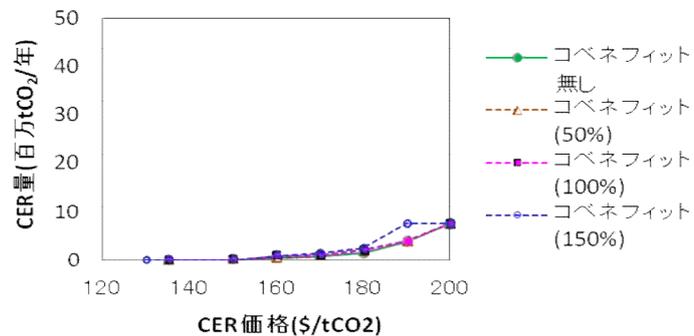
(a) 石炭ガス化複合サイクル発電



(b) 天然ガス複合サイクル発電

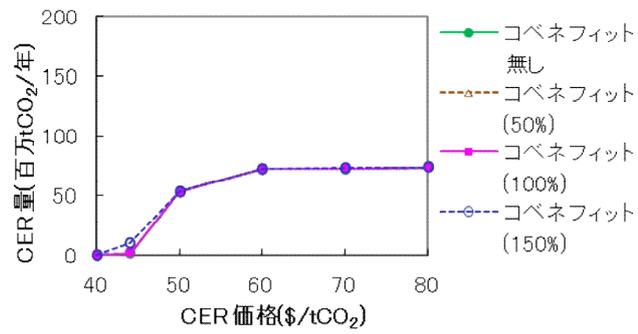


(c) 超々臨界石炭火力発電+CCS

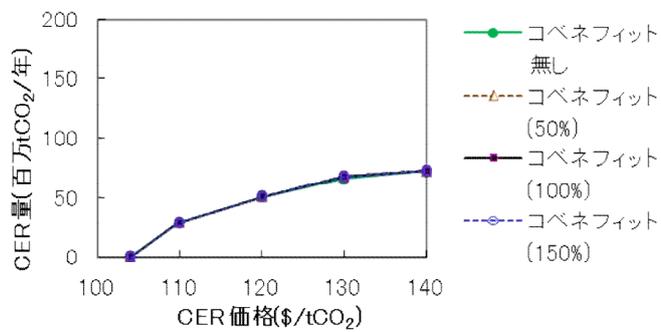


(d) 石炭ガス化複合サイクル発電+CCS

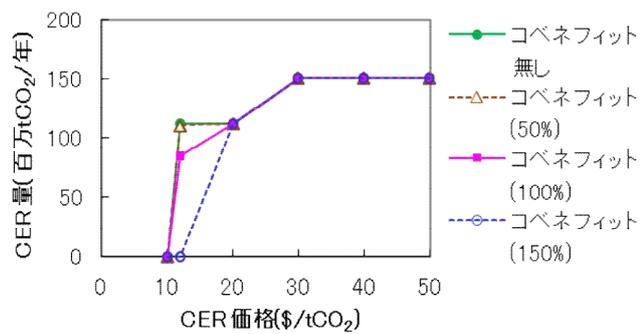
図(4)-7 中国をホスト国とする先進火力発電CDM(2016年実施)のクレジット供給曲線



(a) 風力発電



(b) 太陽光発電



(c) バイオマス発電

図(4)-8 中国をホスト国とする再生可能エネルギー発電CDM(2016年実施)のクレジット供給曲線

## 2) インド

対象技術としては、石炭ガス化複合サイクル発電、二酸化炭素回収 (CCS) 型超々臨界石炭火力発電、二酸化炭素回収 (CCS) 型石炭ガス化複合サイクル発電、風力発電、太陽光発電、農業廃棄物利用バイオマス発電および原子力発電を取り上げた。インドでは、天然ガスは低コストの発電が期待できる技術であるが、ガス供給の不確実性が利用の拡大を制約している。モデルでは天然ガス発電全体に導入上限制約を課しているが、ベースラインにおいてすでに上限まで導入が進んでしまいCDMの余地がない。原子力発電については、現在CDMの対象技術としては認められていないが、インドでは、資金不足などに起因する電源開発の遅れが問題となっているため、将来原子力発電のCDMも成り立つ可能性があるかと判断し検討に加えた。

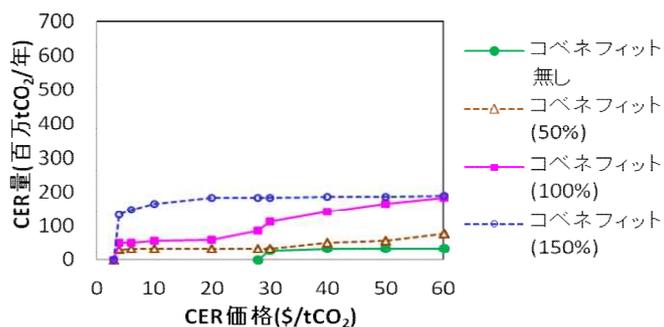
図(4)-9の「コベネフィット無し」カーブは、インドをホスト国として2016年に実施する先進火力発電CDMを想定したクレジット供給曲線である。発電技術のクレジット期間は10年である。インドでは、2016年に実施されるCDMプロジェクトが代替する電源は主に亜臨界石炭火力発電である。

超々臨界石炭火力発電や石炭ガス化複合サイクル発電は、CER価格が\$30/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから導入可能になるが、発電コストが高いためにCDMとしての導入ポテンシャルはあまり大きくない。導入は、小規模発電プラントが多く平均発電効率の低い北部グリッドが主である。二酸化炭素回収型発電は、CER価格が\$50/tCO<sub>2</sub>前後から導入可能になる。小規模発電プラントが多く平均発電効率の低い北部グリッドの導入ポテンシャルが大きい。CER価格が高ければ南部グリッドにも導入され得る。中国に比べて二酸化炭素回収型発電の導入ポテンシャルが大きいのは、今回のインドモデルではCO<sub>2</sub>の貯留容量に制約を課していないことも一因であると考えられる。

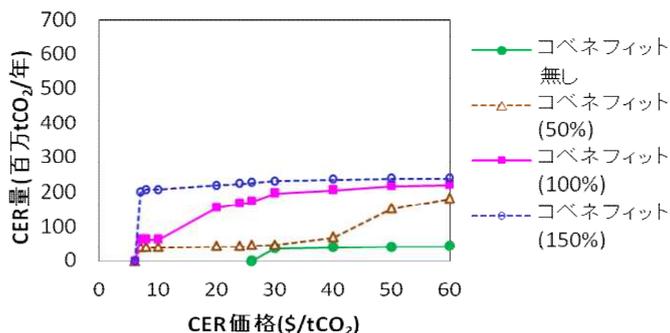
図(4)-10の「コベネフィット無し」カーブは、インドをホスト国として2016年に実施する再生可能エネルギー発電技術および原子力発電のCDMを想定したクレジット供給曲線である。再生可能エネルギー発電のクレジット期間は21年、原子力発電のクレジット期間は10年と想定した。

風況が良く年間設備稼働率の高い風力資源の開発は、すでにベースラインに織り込まれているため、CDMの対象となるのは主に年間設備利用率が20%前後の風力資源である。風力発電は、買取価格として\$0.12/kWhを適用するとCER価格が\$10/tCO<sub>2</sub>を越える辺りからCDMとしての導入が可能になる。風力資源が豊かな南部グリッドに大きな導入ポテンシャルが有る。太陽光発電に関しては、現在\$0.20/kWhの買取価格が適用されることになっているが、モデルでは2031年に向かって設備価格の低下と共に買取価格が\$0.09/kWhまで逡減すると想定した。太陽光発電はCER価格が\$70/tCO<sub>2</sub>を越える辺りからCDMとしての導入が可能になる。太陽光発電のCDMは北部グリッドにも南部グリッドにも導入可能であるが、北部グリッドのポテンシャルが大きい。バイオマス発電に関しては、ベースラインでも北部グリッド、南部グリッドにおいて導入が進むが、CDMとしてはCER価格が\$24/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから成立するようになる。導入ポテンシャルは、北部グリッドにも南部グリッドにも有る。

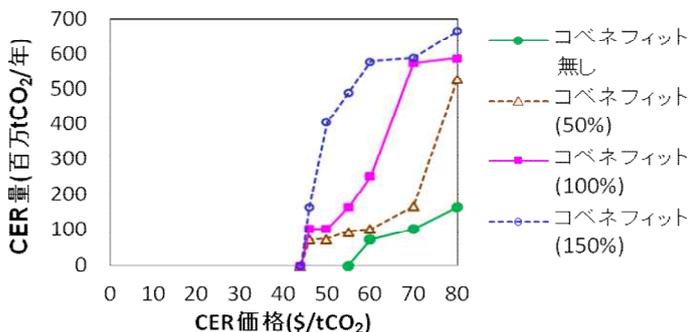
原子力発電は、CDMとしてはCER価格が\$10/tCO<sub>2</sub>を越える辺りから成立し得る。ベースラインにおいて導入が進むため、CDMとしてのポテンシャルは限定的である。



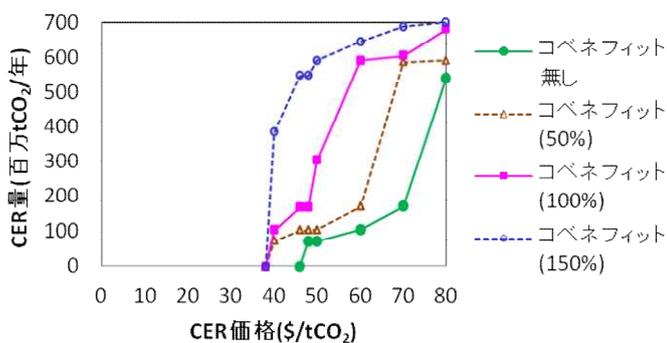
(a) 超々臨界石炭火力発電



(b) 石炭ガス化複合サイクル火力発電

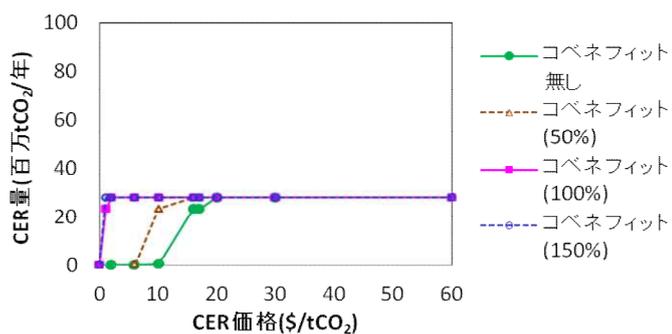


(c) 超々臨界石炭火力発電+CCS

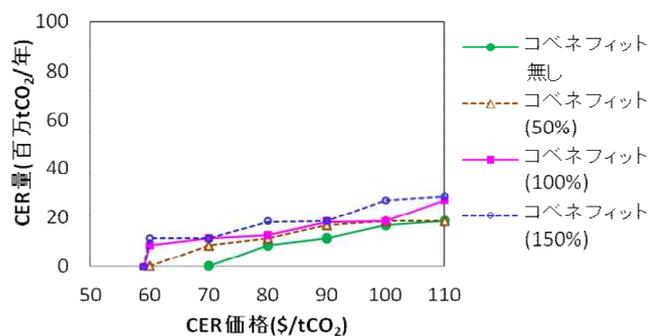


(d) 石炭ガス化複合サイクル火力発電+CCS

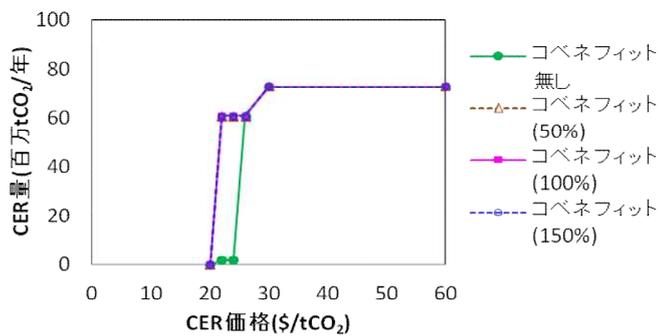
図(4)-9 インドをホスト国とする先進火力発電CDM (2016年実施) のクレジット供給曲線



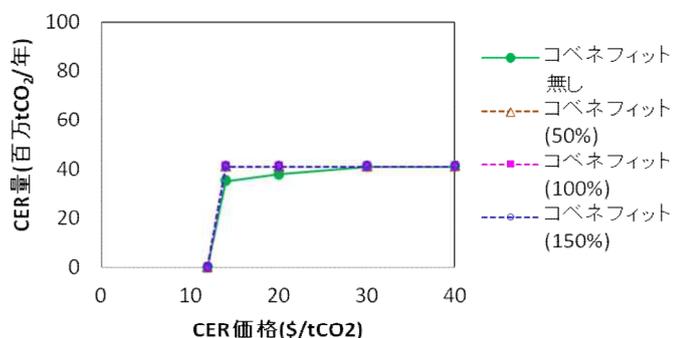
(a)風力発電



(b)太陽光発電



(c)バイオマス発電



(d)原子力発電

図(4)-10 インドをホスト国とする非化石燃料発電CDM (2016年実施) のクレジット供給曲線

### (3) CDMにおけるコベネフィットの効果

#### 1) 中国

コベネフィットを考慮しないCDMとコベネフィットを考慮するCDMのクレジット供給曲線を比較することにより、コベネフィットの効果を定量的に比較することが可能になる。大気汚染物質排出削減にともなうコベネフィットの大きさは表(4)-8の値を参照値(100%)とし、感度分析として50%減の場合と、50%増の場合を検討した。

2016年に実施する先進火力発電技術のCDMに関してコベネフィットの効果を分析した結果は、図(4)-7の「コベネフィット(100%)」カーブなどとして示されている。先進火力発電のクレジット期間は、コベネフィットを考慮しない場合と同じ10年である。二酸化炭素回収を行わない石炭ガス化複合サイクル発電と天然ガス複合サイクル発電の場合、同じCER価格で供給可能なCER量は、コベネフィットを考慮することによって増加する。天然ガス複合サイクル発電についてはコベネフィットの値が表(4)-8の50%増(コベネフィット(150%))の場合にだけコベネフィットを考慮する効果がはっきり見られるが、石炭ガス化複合サイクル発電の場合は表(4)-8の50%減(コベネフィット(50%))であってもコベネフィットの効果が明確に現れている。

これに対して、二酸化炭素回収型を行う先進火力発電については、コベネフィットを考慮しても、同じCER価格で供給可能なCER量はコベネフィットを考慮しないCDMの場合とほとんど変わらない。

2016年に実施する再生可能エネルギー発電技術のCDMに関してコベネフィットの効果を分析した結果は、図(4)-8の「コベネフィット(100%)」カーブなどとして示されている。再生可能エネルギー発電のクレジット期間は、コベネフィットを考慮しない場合と同じ21年である。風力発電と太陽光発電のコベネフィット供給曲線は、コベネフィットを考慮してもほとんど変化していない。農業廃棄物利用バイオマス発電の場合は、唯一、コベネフィットを考慮することにより、CERが低い価格帯で供給可能なCER量がコベネフィットを考慮しないCDMの場合よりもわずかに減少している。

発電技術によりコベネフィットの効果の現れ方が違う理由を調べるために、大気汚染物質排出削減によるコベネフィットをCER売却から得られる収入の大きさと比較した。指標としたのは、(4)式で定義する発電設備GWあたり年平均コベネフィットと、(5)式で定義する発電設備GWあたりCER売却収入である。

$$ACBN = \left\{ \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} B_{g,t} \right\} / \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} / G \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

ACBN=発電設備GWあたり年平均コベネフィット

d= 割引率

$B_{g,t}$  = コベネフィット

G= CDMプロジェクトの発電設備量

であり、 $t$ に関する和はCDMプロジェクトの発電プラントの耐用期間にわたって取る。

$$ACER = \left\{ \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} C_{g,t} \right\} / \sum_t (1+d)^{-(t-2006)} / G \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

ACER=発電設備GWあたりCER売却収入

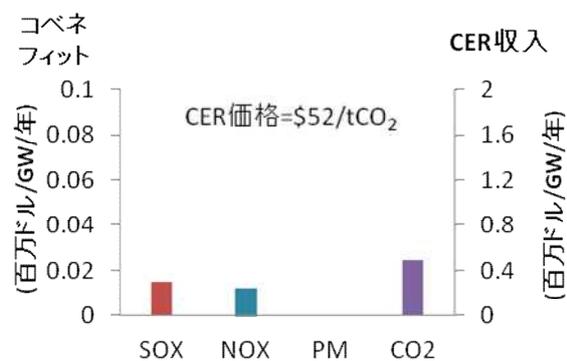
d= 割引率

$C_{g,t}$  = クレジット収入（クレジット価格とクレジット売却量の積和）

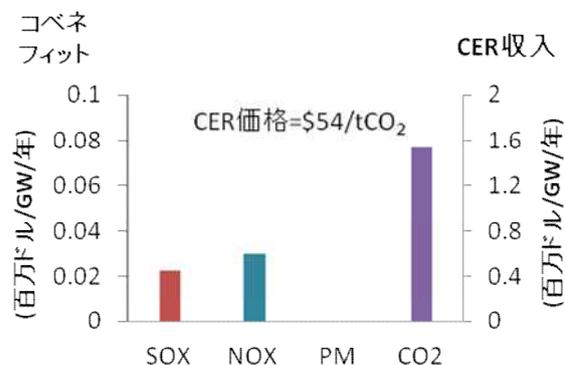
G= CDMプロジェクトの発電設備量

であり、 $t$ に関する和はCDMプロジェクトのクレジット期間にわたって取る。

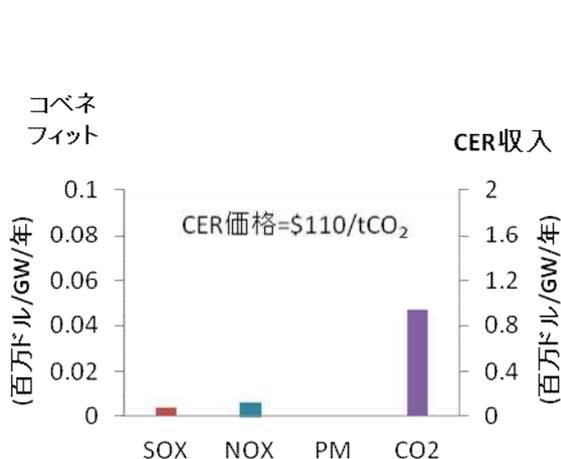
ガス化複合サイクル発電、天然ガス複合サイクル発電、太陽光発電および農業廃棄物利用バイオマス発電に関して、GWあたり年平均コベネフィットとGWあたりCER売却収入を比較した結果を図(4)-11に示す。ベースラインにおける発電効率が高く大気汚染物質の排出も少ない中国では、



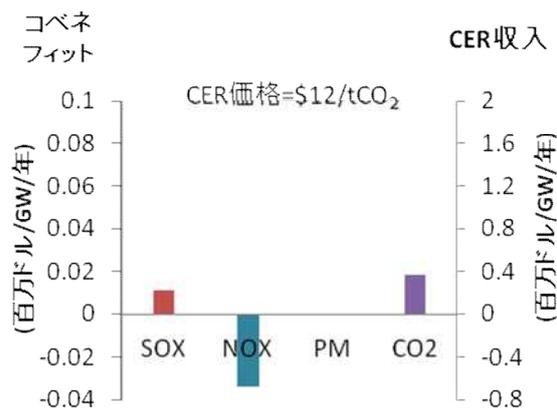
(a) 石炭ガス化複合サイクル発電



(b) 天然ガス複合サイクル発電



(c) 太陽光発電



(d) バイオマス発電

図(4)-11 中国をホスト国とするCDM（2016年実施）のGWあたり年平均コベネフィットとGWあたりCER売却収入

GWあたりCER売却収入に比べてGWあたり年平均コベネフィットの値が桁違いに小さいので、発電設備GWあたり年平均コベネフィットの値は汚染物質ごとに左の縦軸で示し、発電設備GWあたりCER売却収入の値はCO<sub>2</sub>として右の縦軸で表示している。なお、CERの価格には、コベネフィットを考慮したCDMが導入され始める最低価格を用い、最低CER価格の値はそれぞれの図中に付記した。

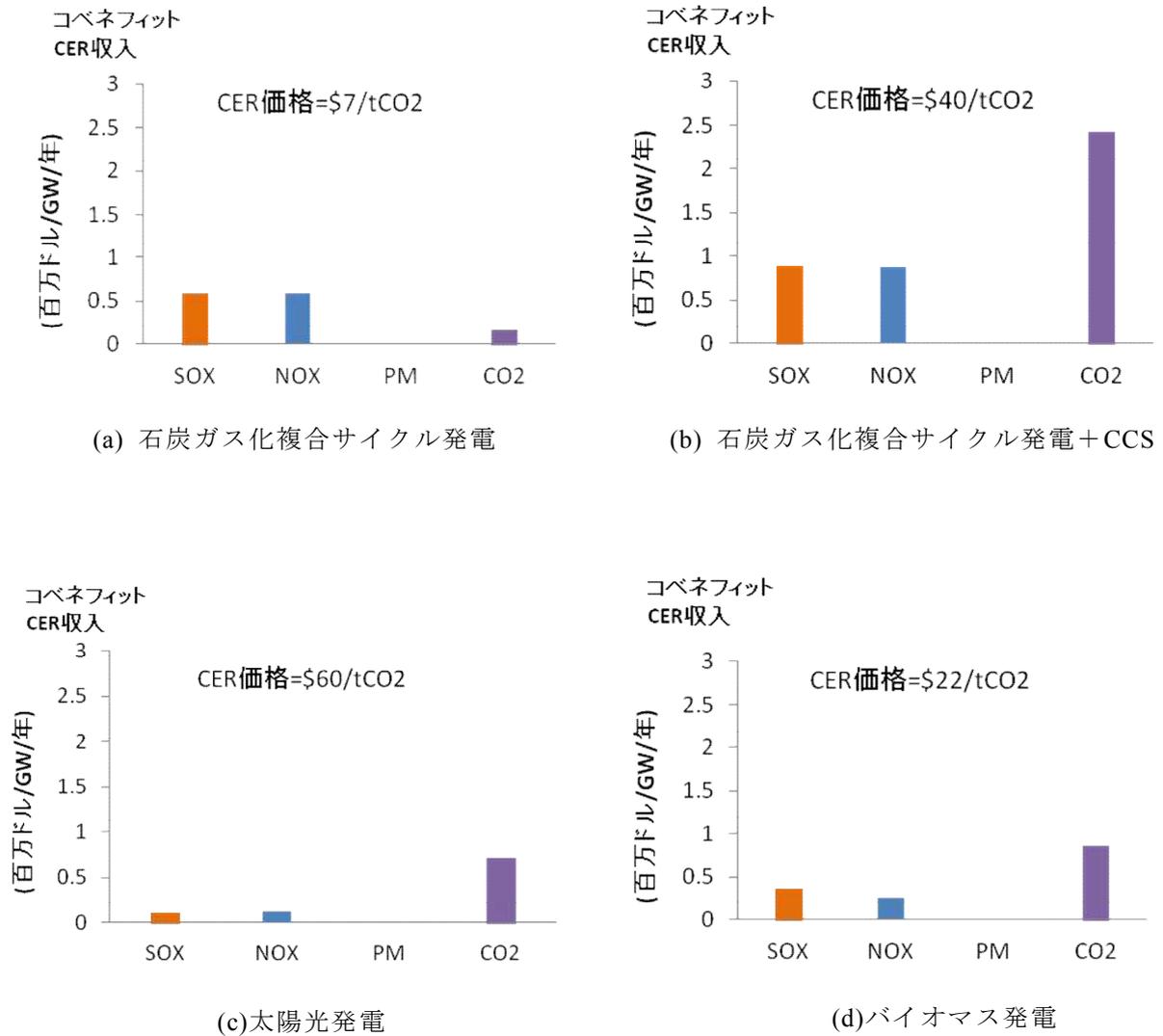
石炭ガス化複合サイクル発電の場合は、代替の対象となる超々臨界石炭火力との間で発電効率の差が小さいために、GWあたり年平均コベネフィットのGWあたりCER売却収入に対する比が相対的に大きい。天然ガス複合サイクル発電の場合は、CO<sub>2</sub>削減効果がより大きいので、GWあたり年平均コベネフィットのGWあたりCER売却収入に対する比は石炭ガス化複合サイクル発電の場合より小さくなる。太陽光発電の場合は、CER価格が高くなってからCDMが導入されるために、GWあたり年平均コベネフィットのGWあたりCER売却収入に対する比は非常に小さい。バイオマス発電では、kWh当たりNO<sub>x</sub>排出量がベースラインの火力平均より大きいために、NO<sub>x</sub>に関するGWあたり年平均コベネフィットがマイナスになっている。どの発電技術についても、ばいじんの排出削減によるコベネフィットは非常に小さい。

## 2) インド

ベースラインにおける火力の発電効率が低く大気汚染物質の排出量も大きいインドでは、バイオマス発電を含めて対象とした全ての場合で、コベネフィットを考慮することによって同じCER価格で供給可能なCER量が増加した。

インドで2016年に実施する先進発電技術のCDMに関してコベネフィットの効果を分析した結果を、図(4)-9および図(4)-10の「コベネフィット(100%)」カーブなどとして示す。先進火力発電の場合には、コベネフィット値の変化に対するクレジット供給量の感度が大きいですが、再生可能エネルギー発電や原子力発電に関しては、コベネフィット値の変化に対する感度は相対的に小さい。インドでは、再生可能エネルギー発電に対する固定価格買取制度の導入等により、ベースラインにおいて再生可能エネルギー発電や原子力発電の導入が進む。その結果、これらの技術のCDMプロジェクトの導入規模が制限を受け、コベネフィットの効果がはっきり表に現れないのだと考えられる。

図(4)-12は、ガス化複合サイクル発電、二酸化炭素回収型石炭ガス化複合サイクル発電、太陽光発電および農業廃棄物利用バイオマス発電に関して、GWあたり年平均コベネフィットとGWあたりCER売却収入を比較した結果である。CERの価格には、コベネフィットを考慮したCDMが導入され始める最低価格を用いた。CER価格の値はそれぞれの図中に付記した。非二酸化炭素回収型石炭火力発電の場合、コベネフィットを考慮したCDMが導入され始めるCERの価格帯では、GWあたり年平均コベネフィットがGWあたりCER売却収入よりも大きい。このことから、コベネフィットの効果がCDMの導入促進に有効であることが分かる。インドにおいてもばいじんの排出対策は進んでいるため、ばいじんの排出削減によるコベネフィットは小さく、コベネフィットは主にSO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>の排出削減から生じている。



図(4)-12 インドをホスト国とするCDM (2016年実施) の  
GWあたり年平均コベネフィットとGWあたりCER売却収入

#### (4) 考察

中国とインドをホスト国として想定したケーススタディの結果を整理する。

- 1) 中国では、2020年にGDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量を2005年比で半減するという目標と、2011年7月に発布された大気汚染物質排出規制(GB13223-2011、表(4)-9)により、脱硫脱硝付き超々臨界圧石炭火力の新設と既設石炭火力プラントに脱硫脱硝を追加する改造が急速に進む。
- 2) 中国では、輸入天然ガスを燃料とする限り、天然ガス火力は超々臨界圧石炭火力よりも経済的な効果が小さく、石炭ガス化複合サイクル発電は、経済的に見て超々臨界圧石炭火力に比べて不利である。
- 3) インド政府が国家電力計画2012で想定するCO<sub>2</sub>制約に基づいて分析した結果、インドでは電源の多様化が進み、石炭から、次第に天然ガス、原子力、水力の発電量が増加していく。石炭火力は今後も最大の発電量シェアを占めるが、中国の場合とは異なり、将来も発電効率の低い亜臨界圧石炭火力の割合が大きい。石炭ガス化複合サイクル発電の導入は見られなかった。
- 4) 二酸化炭素回収型発電は、今回の分析で想定したCO<sub>2</sub>排出抑制目標の下では、中国、インドともに導入が難しい。
- 5) 発電部門では、ばいじんの排出に対する対策が進んでいるため、コベネフィットは主にSO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>の排出削減から生じる。したがって、CDMの対象技術には優れた低SO<sub>x</sub>、低NO<sub>x</sub>性能が求められる。
- 6) ほとんどのケースにおいて、ホスト国がCDMのコベネフィットを考慮に入れることにより、CDMの導入規模が拡大することが期待される。例外的に、ホスト国の火力発電に厳しいSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出規制が既に適用されている場合には、小規模なバイオマス発電などで大気汚染物質(NO<sub>x</sub>)排出基準を満たしていてもコベネフィット効果が負になってしまうことがあり得る。
- 9) コベネフィットの効果は、再生可能エネルギー発電などのようにkWhあたりのCO<sub>2</sub>排出削減効果が大きい発電技術のCDMよりも、先進的の石炭火力発電のCDMの場合に相対的に強く現れる。この傾向は、ベースラインにおける平均火力発電効率が高く、kWhあたりSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出量が小さく、かつCERの価格が低いCDMの場合に、いっそう顕著に認められる。

### 5. 本研究により得られた成果

#### (1) 科学的意義

本研究で開発された手法により、ホスト国の環境政策（大気汚染物質排出基準、二酸化炭素排出抑制政策）やエネルギー政策（再生可能エネルギー発電の固定価格買取制度など）を織り込んだベースラインを設定し、その上でコベネフィットを考慮することによりCDMの受け入れがどの程度促進される可能性があるかを、始めて定量的に分析できるようになった。

#### (2) 環境政策への貢献

##### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

##### <行政が活用することが見込まれる成果>

ケーススタディの結果から、コベネフィットを考慮した技術移転のあり方に関して以下の知見を得た。

大気汚染の改善が先行して行われている中国では、再生可能エネルギーの導入は温暖化対策としての効果が大きく、大気汚染改善のコベネフィットは小さい。再生可能エネルギーの導入は、

コベネフィットの有無にかかわらず重要である。先進火力発電の場合は、CO<sub>2</sub>排出低減効果に比べてコベネフィットの価値が相対的に高まる傾向がある。なぜなら、ベースラインで脱硫脱硝を備えた超々臨界石炭火力発電の導入が進むため、平均火力発電効率の改善も進展すると判断されるからである。新規建設プラントの脱硫率は90%前後と高くなっており、今後は、脱硫率がまだ低い既設石炭火力プラントの改造およびリプレースが求められる。いっぽう、インドでは大気汚染の改善が遅れているため、高効率火力発電技術や再生可能エネルギー発電技術の導入促進に対するコベネフィット効果は大きい。

これらの知見から、特に、現行の枠組みではなかなか進展しない先進的の石炭火力発電のCDMの可能性を拡大するためには、コベネフィット効果を考慮することが重要であることを示した点で、新しいオフセット・メカニズムの制度設計に貢献することが期待される。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: The Tenth IASTED European Conference on Power and Energy Systems, Crete, Greece, 414-420 (2011)  
"Co-benefits of internalizing local air pollution costs in India' s power sector"
- 2) R. ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Sixth Dubrovnik conference on sustainable development of energy water and environment systems, Dubrovnik, Croatia, NO. 382, 1-13 (2011)  
"Assessment of co-benefits from CDM projects for India' s power sector"
- 3) A. MURATA and E. ENDO: Journal of Energy and Power Engineering, 6, 7, 1022-1034 (2012)  
"Assessment of CDM Activities by a Generation Planning Model of the Chinese Power Grids"
- 4) R, ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Journal of Energy and Power Engineering, 6, 12, 1925-1934 (2012)  
"Including Co-benefits in the CDM of the Power Sector: A Case Study for India"
- 5) ETO, A. MURATA, Y. UCHIYAMA and K. OKAJIMA: Energy Policy, 58, 7, 260- 268 (2013)  
"Co-benefits of including CCS projects in the CDM in India' s power sector"

#### <査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない

**(2) 口頭発表 (学会等)**

- 1) 梁建国, 村田晃伸: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「中国における大気汚染の環境ベネフィットを考慮したCCSの導入分析」
- 2) J. LIANG and A. MURATA: International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-11) Kyoto, Japan, 2012  
"Analysis of the CCS Considering Environment Co-benefit of Air Pollutants in China"

**(3) 出願特許**

特に記載すべき事項はない

**(4) シンポジウム、セミナー等の開催 (主催のもの)**

特に記載すべき事項はない

**(5) マスコミ等への公表・報道等**

特に記載すべき事項はない

**(6) その他**

特に記載すべき事項はない

**8. 引用文献**

- 1) 査読付き論文の1)に同じ
- 2) 査読付き論文の3)に同じ
- 3) IEA: Harnessing Variable Renewables A Guide to the Balancing Challenge
- 4) 査読付き論文の4)に同じ
- 5) India Central Electricity Regulation Commission: Annual report 2010/11
- 6) India Central Electricity Regulation Commission: Petition No.35/2012(Suo-Motu)
- 7) IEA: World Energy Outlook 2011 WEO\_PG\_Assumptions\_450\_Scenario
- 8) 中国環境保護部: 中国環境統計2006
- 9) Robert T Dahowski, Xiaochun Li, Casie L Davison, Ning Wei, James J Dooley: Regional Opportunities for Carbon Dioxide Capture and Storage in China (2009)
- 10) IEAGHG: A regional assessment of the potential for CO2 storage in the Indian subcontinent, IEA Greenhouse Gas R&D Programme (2008)
- 11) IPCC: Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol.3
- 12) US.EPA: Compilation of Air Pollutant Emission Factors 4th Edition

## **Co-benefit Study on Development of GHG Mitigation Technologies toward Asian Low-Carbon Society**

Principal Investigator: Yohji UCHIYAMA

Institution: University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8573, JAPAN

Cooperated by: University of Tsukuba,  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

[Abstract]

Key Words: CO<sub>2</sub> mitigation, CO<sub>2</sub> credit, Clean Development Mechanism(CDM),  
Co-benefit effect, Geographic Information System(GIS),  
Willingness to pay(WTP), Benefit Transfer

In order to achieve the reduction target on GHG emission in Japan, the Japanese government is obliged to acquire CO<sub>2</sub> credit including Clean Development Mechanism projects in developing countries. In the present study we aim to develop a bottom-up approach method to comprehensively analyze GHG mitigation technologies which are expected to be installed as various energy supply systems and energy conservation technologies in Asian countries. In addition, we clarify an economy including co-benefit effect of various energy technology options in each divided region.

Life-cycle evaluation has been carried out using the Geographic Information System (GIS). The interregional coal flows for coal-fired power plants, SO<sub>x</sub> exposure from the power plants, usable biomass potential, and the amount of available PV installation capacity have been estimated. Such investigation leads to sub-theme (4). SO<sub>x</sub> exposure with and without the desulfurization is related to sub-theme (2).

In order to investigate the monetary value of air pollution improvement, social surveys based on CVM (Contingent Valuation Method) was carried out to clarify the co-benefit of CDM projects. The surveys was run in three areas; the central area of Beijing, the rural and urban area of Shanxi. The amount of WTP (Willingness To Pay) for avoiding health damage caused by air pollution has been estimated by pricing a scenario with purchasing a nebulizer. Influence by attributes of people on the amount has been derived.

Social surveys via internet have been conducted in several cities of Asian countries to obtain marginal willingness to pay (MWTP). We chose internet survey to obtain samples from 20s to 40s, with same gender rate. In fiscal year 2012, the adequate questionnaire is selected through the trial and errors of the previous two fiscal years, and then number of cities as well as countries is increased in order to construct MWTP functions for benefit transfer. The results of investigations lead to successful data linked to the sub-theme (4).

In cooperation with sub-theme (1), multi-grid optimal power generation planning models

have been developed. Advanced thermal power and renewable energy generation have been analyzed with the baselines of CDM in line with their recent energy-environment policies. Case studies have been carried out assuming the values of co-benefit derived from findings by sub-themes (2) and (3) which indicate the effects to reduce the emissions of air pollutants such as SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub>. It is concluded that co-benefit has a favorable effect on the promotion of CDM projects.

【E-1001】 アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究  
(筑波大学・(独)産業技術総合研究所)

アジア低炭素社会に向けた貢献

● コベネフィットを考慮した環境外部性の統合評価手法を開発

CDM技術のエネルギーシステムについてCO<sub>2</sub>排出量の緩和だけでなく大気汚染など環境影響の外部コストを評価  
(“点”データ⇒“線”ネットワーク⇒“面”マクロ評価)

● アジア諸国を対象に分析

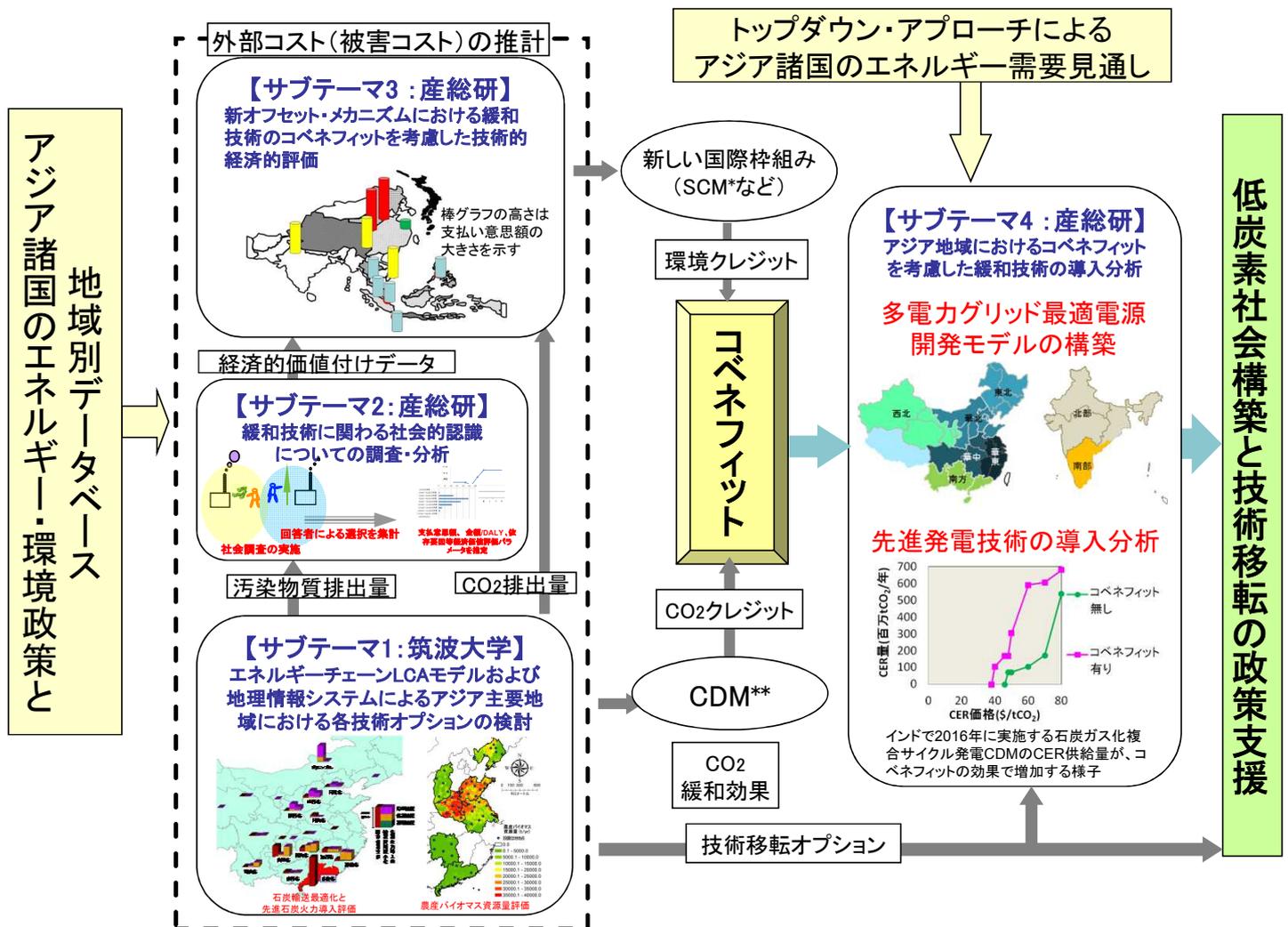
中国やインドなど経済成長が著しく、エネルギー消費が増大しているアジア諸国・地域で分析し、データベースを構築  
(中国:6地域、インド:2地域、他)

● 各種環境影響因子に対する支払意思額による外部コストの推計

PM2.5など大気汚染物質による健康影響だけでなく、社会資産、生物多様性、一次生産の外部コストをアジア諸国を対象に初めて分析

● 各種CDM技術についてのコベネフィット効果を評価

先進石炭火力発電(超々臨界圧、IGCC、CO<sub>2</sub>回収)、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などの発電技術について、2030年までのコベネフィット効果を分析



\*SCM(Sectoral Crediting Mechanism):セクター・クレジットメカニズム \*\* CDM(Clean Development Mechanism):クリーン開発メカニズム